DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR

18

H. Jakubaschk

Meßplatz des Amateurs

Der praktische Funkamateur · Band 18

Meßplatz des Amateurs

HAGEN JAKUBASCHK

Meßplatz des Amateurs



VERLAG SPORT UND TECHNIK · 1961

Redaktionsschluß: 22. November 1960
Lektor: Wolfgang Kimmel
Herausgegeben vom Verlag Sport und Technik, Neuenhagen bei Berlin

Gedruckt in der Deutschen Demokratischen Republik
Zeichnungen: Hildegard Seidler
Lizenz-Nr.: 545/12/61 — 5/I 3336

VORWORT

Dieses Büchlein ist nicht als Anleitung zum Bau eines kompletten, in sich geschlossenen Meßplatzes gedacht, obwohl die beschriebenen Geräte sämtlich Bestandteile eines solchen sind. Sie können aber selbstverständlich Stück für Stück nach Bedarf gebaut und unabhängig voneinander benutzt werden. Die hier zusammengefaßten Beschreibungen sind größtenteils bereits in verschiedenen Fachzeitungen veröffentlicht worden. Zahlreiche Leserzuschriften zeigten jedoch, daß eine zusammenfassende Darstellung wünschenswert ist, um dem interessierten Amateur einen Überblick zu geben und ihm – wenn ein bestimmtes Gerät gebaut werden soll – langwieriges Suchen in der zahlreich vorhandenen Fachliteratur zu ersparen.
Die vorliegende Zusammenstellung bietet eine für Amateurzwecke zugeschnittene Kombination der wichtigsten Meßgeräte, mit denen alle praktisch vorkommenden Aufgaben lösbar sind. Nicht berücksichtigt wurden in diesem Heftchen Frequenzmeßgeräte, da hierüber bereits ein besonderes Heft in der gleichen Broschürenreihe (Nr. 6, „Frequenzmesser" von K. Häusler) erschien; auf Heft Nr. 12, „Meßtechnik für den Kurzwellen-Amateur" von F. W. Fußnegger wird in diesem Zusammenhang ebenfalls hingewiesen.
Die vorliegenden Bauanleitungen wenden sich an den fortgeschrittenen Amateur, der bereits an den Bau bzw. Entwurf eigener Geräte geht und dabei mit einfachen Behelfs-Meßmethoden nicht mehr auskommt. Es steht fest, daß beim eigenen Entwurf von Schaltungen und beim Einmessen umfangreicherer Geräte – das beginnt schon beim normalen Superhetempfänger, wenn dieser auf Höchstleistung „getrimmt" werden soll – ein genaues Messen erste Voraussetzung für den Erfolg ist und beste Garantie gegen zeitraubendes Fehlersuchen und endloses Probieren bietet. Insofern ist die Frage, ob sich ein größerer Aufwand an Meßmitteln für den Amateur überhaupt lohnt, für den aktiven und fortgeschrittenen Amateur unbedingt zu bejahen.

Für die äußere Gestaltung (Gehäuse) der einzelnen Meßgeräte werden nur allgemeine Hinweise gegeben. Je nach Verwendungszweck können die Geräte – wie bei den Mustergeräten geschehen – als Gestelleinschübe gefertigt und am Arbeitsplatz entsprechend vereinigt oder auch jeweils als Einzelgeräte aufgebaut werden. Bei Vereinigung im Gestell am Arbeitstisch empfiehlt sich dann die Verwendung eines Spannungskonstanthalters größerer Leistung für den gesamten Meßplatz.

Abschließend werden noch einige Hinweise zu Meßmethoden gegeben, über die in der Amateurliteratur relativ wenig zu finden ist. Grundlegende Meßverfahren und einfachere Meßanordnungen (Durchgangsprüfer u. ä.) werden nicht behandelt, sie sind allgemein bekannt. Ebenfalls werden hier keine Meßgeräte für Fehlersuche nach dem Signalverfolgungs-Verfahren (signal-tracer) gezeigt, da die-

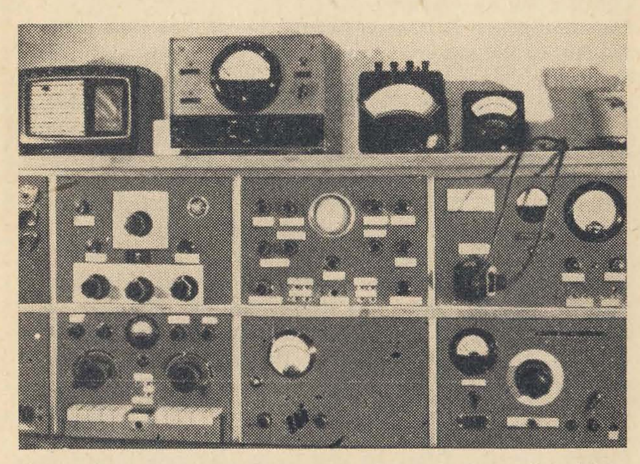


Bild 1. Gesamtansicht eines Amateurmeßplatzes. Ganz oben Mitte: Röhrenvoltmeter. Darunter obere Einschubreihe links: RLCZ-Meßbrücke. Mitte: Oszillograf. Rechts: Netzschalttafel mit Netzspannungsmesser, Hauptschalter, Hauptsicherung, Durchgangsprüfer. Untere Reihe links: Meßsender/Tongenerator. Mitte: Wobbler (hier nicht beschrieben, an dieser Stelle kann Klirrfaktormeßgerät oder Prüfverstärker Platz finden). Rechts: Universal-Netzgerät

ses Verfahren vorwiegend für die Reparatur-, weniger für die Amateurpraxis von Bedeutung ist. Die beschriebenen Geräte sind dagegen sämtlich im Hinblick auf möglichst vielseitige Verwendbarkeit und hohes Leistungsvermögen ausgelegt.

Besonders gedankt sei an dieser Stelle meinem Fachkollegen, Herrn Ludwig Scholz, der an Entwurf und Aufbau der Mustergeräte maßgeblich beteiligt war, den Redaktionen der Zeitschriften „funkamateur" und „radio und fernsehen" für ihre bereitwillige Zustimmung zur Benutzung des dort veröffentlichten Materials, und dem Verlag für die Unterstützung bei Herausgabe dieses Heftchens.

Görlitz, November 1960 Hagen Jakubaschk

RÖHRENVOLTMETER FÜR GLEICH- UND WECHSEL-SPANNUNG

Meßarten:

Gleich- und Wechselspannungen 30 Hz ... 10 MHz

Meßbereiche: 0,5 V ... 500 V

Eingangswiderstand:

10 MΩ unsymmetrisch oder 20 MΩ symmetrisch

Für die exakte Messung von Spannungen an hochohmigen Quellen oder Schaltungspunkten ist ein Röhrenvoltmeter unerläßlich. Bild 2 zeigt die Frontansicht des hier beschriebenen Röhrenvoltmeters (im folgenden kurz RVM genannt),

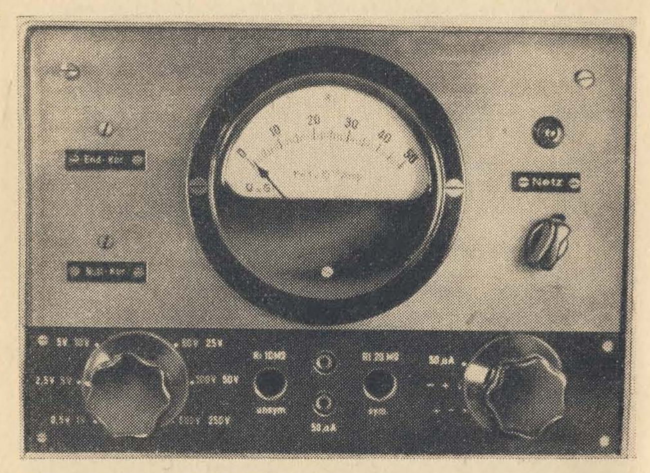


Bild 2. Frontansicht des Röhrenvoltmeters

Bild 3 seine Schaltung. Das Gerät ist mit einer Doppeltriode ECC 81 bestückt und zunächst für Gleichspannungen ausgelegt. Wechselspannungen werden mittels des später beschriebenen Tastkopfes gemessen. – Als Meßwerk findet ein

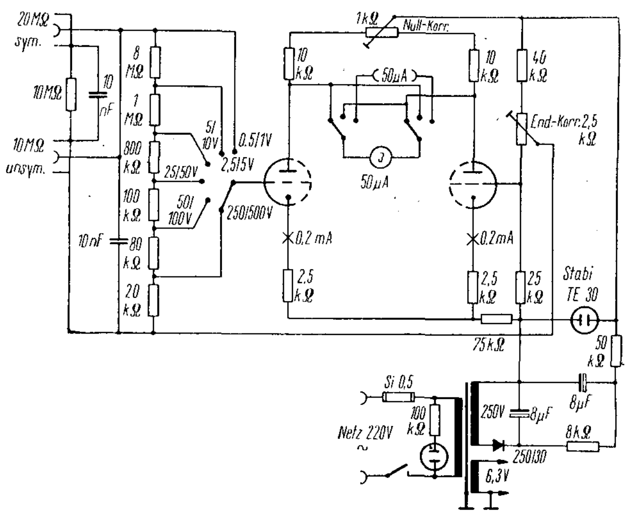


Bild 3. Schaltung des Röhrenvoltmeters

Mikroamperemeter mit 50 µA Vollausschlag Verwendung. Möglich ist auch der Einbau eines leichter beschaffbaren 100-µA-Instrumentes, dann verdoppeln sich jedoch alle Meßbereiche. Links unterhalb des Instrumentes ist in Bild 2 der Bereichsschalter sichtbar, der die Meßbereiche 0,5 – 2,5 – 5 – 25 – 50 – 250 V einzustellen gestattet. Diese Werte gelten für den unsymmetrischen 10-MΩ-Eingang. Bei Benutzung des symmetrischen 20-MΩ-Eingangs (mit dem im allgemeinen bedarfsweise auch unsymmetrische Spannungen ohne Störung gemessen werden können) verdoppeln sich diese Werte. Unter dem Instrument sind die Koax-Buchsen für den 10-MΩ-Eingang (links) und den 20-MΩ-Eingang (rechts) sichtbar (als Meßkabel wird zweckmäßig ein Koax-Antennenkabelstück mit Prüfspitze benutzt), dazwischen ein normaler Buchsenanschluß, über den das 50-µA-Instrument für besondere Fälle direkt anschließbar ist. Das kann z. B. für Gitterstrommessungen u. ä. wertvoll sein. Unten ganz rechts ist der Polaritäts-Umschalter sicht-

bar. Das Gerät kann damit für die Messung von gegen Erde negativen oder positiven Spannungen eingestellt werden, ohne daß ein Umpolen des Meßkabels nötig wird oder Schwierigkeiten bei der Messung unsymmetrischer Spannungen auftreten. Dieser Schalter hat drei Stellungen; in der dritten Stellung ist das Instrument von der RVM-Schaltung getrennt und befindet sich direkt an den 50-μA-Anschlußbuchsen. Links neben dem Instrument liegen die geschlitzten Achsstümpfe der Eichregler für Nullpunkt und Endausschlag, rechts Netzschalter und Netzkontroll-Glimmbirne.

Die hier verwendete Brückenschaltung (Bild 3) hat den Vorzug einer sehr guten, weit ausreichenden Stabilität und Konstanz gegenüber Netzspannungsschwankungen und Röhrenalterungen. Die beiden durch die Innenwiderstände der Triodensysteme gebildeten Brückenzweige befinden sich im Gleichgewicht, so daß das im Querzweig liegende Meßwerk keinen Strom anzeigt. Durch die dem linken System zugeführte Meßspannung wird das Brückengleichgewicht gestört und im Querzweig ein der Meßspannung proportionaler Stromfluß erzeugt. Die gewählte Schaltungsdimensionierung hat den Vorteil, daß das RVM praktisch überlastungsfest ist. Selbst bei völliger Sperrung oder Öffnung des linken Triodensystems steigt der Querstrom durch das wertvolle Mikroamperemeter auf höchstens 0,2 mA an – das ist der vierfache Skalenendwert –, wobei das Meßwerk noch nicht gefährdet ist. Selbst Meßspannungen, die den eingestellten Bereich um Größenordnungen übersteigen (wenn mit dem 0,5-V-Bereich z. B. versehentlich eine Anodenspannung mit einigen 100 V angetastet wird), können keine Beschädigung hervorrufen.

Beim Aufbau ist zu beachten, daß die gesamte Schaltung keine Verbindung mit Chassis oder Gehäuse bzw. Erde haben darf. Daher müssen die Koax-Eingangsbuchsen, Elkos usw. isoliert gesetzt werden. Lediglich das Gehäuse mit Trafokern und einem Heizungspol wird im Betrieb geerdet. Jeder der beiden Eingänge ist mit 10 nF kapazitiv überbrückt, um etwa vorhandene Wechselspannungsreste kurzzuschließen. Die Eingangsspannung gelangt an einen Eingangsspannungsteiler, an dem je nach Meßbereich die erforderliche Teilspannung abgegriffen wird. Der symme-

trische 20-MΩ-Eingang hat einen zusätzlichen Vorwiderstand (10 MΩ), der dem Gesamtwert des Spannungsteilers entspricht. Da das verwendete Instrument eine 50teilige Skala hat, ergibt sich die Möglichkeit der 1 : 2- und 1 : 5-Aufteilung der Meßbereiche und damit normgerechte Werte für die Teilwiderstände des Spannungsteilers. Falls ein Instrument mit 30teiliger Skala verwendet werden soll, müssen die Meßbereiche im Hinblick auf eine leicht durchführbare Skalenumrechnung 1 : 3 unterteilt werden. Das führt zwar zu ungeraden R-Werten, und diese müssen dann aus mehreren Teilwiderständen umständlich kombiniert werden. Es wird dann meist günstiger sein, die Instrumentenskala auf 50 Teilstriche neu umzuzeichnen. Die Widerstände sollen engtoleriert (2 Prozent) oder besser auf genaue Werte ausgemessen sein, zumindest die Spannungsteilerwiderstände sowie die Anoden- und Katodenwiderstände.

Die Spannungsteilerwiderstände werden auf einer kleinen Lötleiste (beste Isolation ist die wichtigste Voraussetzung!) angeordnet. Als Meßbereichsschalter findet ein hochwertiger keramischer Stufenschalter Verwendung. Im Mustergerät bewährte sich hier ein Hescho-Wellenschalter, der durch *Öffnen und Entfernen einer Schaltwalze zu einem* einpoligen 6-Stufen-Schalter umgebaut wurde. Der Umschalter für das Mikroamperemeter kann eine beliebige hochwertige Ausführung sein.

Der Netzteil weist keinerlei Besonderheiten auf. Der Trafo hat nur geringe Leistung aufzubringen, hier ist ziemlich jede Ausführung brauchbar. Die Anodenspannung wird mit einer Stabilisatorröhre TE 30 (auch GR 150 oder ähnliche verwendbar, U_a etwa 150 V) stabilisiert. Falls der gesamte Meßplatz über einen Spannungskonstanthalter versorgt wird, kann der Stabi entfallen. Es wird dann entweder ein Netztrafo mit nur etwa 200 V Anodenspannung verwendet oder besser der Stabi durch einen Festwiderstand ersetzt, der so zu bemessen ist, daß an ihm 150 V stehen.

Der Abgleich des Gerätes ist einfach. Zunächst wird mit dem *1-kΩ-Potentiometer („Null-Korrektur") der Nullpunkt* des Gerätes ungefähr eingestellt (vor Abgleichbeginn Gerät etwa 30 Minuten unter Strom halten!), dann an den 10-MΩ-

Eingang eine Gleichspannung von etwa 250 V gelegt und mit einem parallelgeschalteten Meßinstrument (Multizet o. ä.) genau bestimmt. Mit dem Potentiometer „End-Korrektur" 2,5 kΩ ist jetzt am RVM auf den am Vergleichsinstrument abgelesenen Wert einzustellen. Nunmehr wird die Spannung weggenommen und mit dem Regler „Null-Korrektur" der Nullpunkt genau eingestellt, hiernach wiederum bei angelegter Spannung mit „End-Korrektur" genau der vom Vergleichsinstrument angezeigte Wert eingestellt und der Abgleich – wieder bei abgeschalteter Meßspannung – mit einer nochmaligen Nullpunktkorrektur beendet. Diese letzte Nullpunkteinstellung wird zweckmäßig in der untersten Stellung „0,5 V" des Bereichsschalters vorgenommen. Sind die Spanungsteilerwiderstände genau, dann stimmen damit alle Bereiche. Bei späteren Messungen ist zu beachten, daß das Gerät – wie alle derartigen Meßgeräte – vor Meßbeginn wenigstens 15 Minuten eingeschaltet werden sollte, da erst dann der Nullpunkt konstant ist. Gelegentlich kann sich später vor Meßbeginn ein geringfügiges Nachstellen des Nullpunktes mit „Null-Korrektur" erforderlich machen. Für die Nullpunkteinstellung darf jedoch nicht der Regler „End-Korrektur", der auch den Nullpunkt beeinflußt, herangezogen werden.

Der Aufbau des Gerätes ist völlig unkritisch und kann je nach den speziellen Wünschen des Amateurs erfolgen. Voraussetzung ist lediglich beste Isolation aller Leitungen, besonders der Eingangsleitungen mit Spannungsteiler, Bereichsschalter und Gitterzuleitung der linken Triode. Auf den hierfür benutzten Lötleisten (sparsam verwenden!) sollen sich keine anderen spannungführenden Anschlüsse (Anodenleitungen u. ä.) befinden. Der Röhrensockel muß eine peinlich saubere keramische Ausführung sein. Bereits benutzte Sockel scheiden hier aus.

Bild 4 zeigt die Seitenansicht des geöffneten Mustergerätes. Unter dem Chassis ist der keramische Meßbereichsschalter sichtbar, darüber an der Frontplatte die beiden Eich-Potentiometer, deren geschlitzte Achsstümpfe mit der Frontplatte abschließen; links in Chassismitte die ECC 81, dahinter die beiden isoliert gesetzten Elkos des Netzteiles und

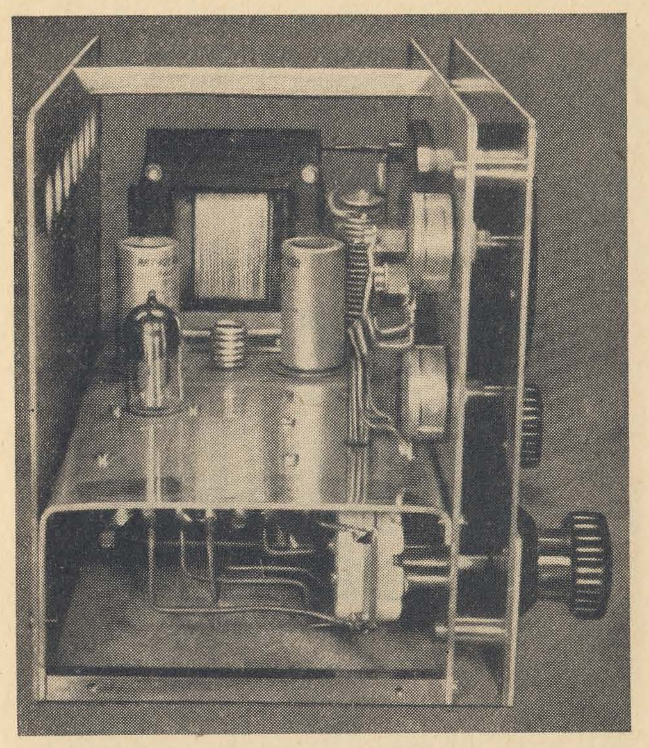


Bild 4. Seitenansicht des geöffneten Röhrenvoltmeters

zwischen diesen die Fassung der Stabilisatorröhre, dahinter der Netztrafo; rechts neben diesem – im Bild etwas verdeckt – der Selengleichrichter.

Die Vorderwand wurde – in Bild 4 gut sichtbar – doppelt ausgeführt. An der Zwischenwand sind dabei die Bedienungsorgane befestigt, ihre Achsen ragen durch die 10 mm davor angeordnete Frontplatte hindurch. Selbstverständlich kann dieser Aufbau vereinfacht werden. – Bild 5 zeigt

die Unteransicht der Verdrahtung. Unten im Bild sind die beiden Koax-Buchsen sichtbar, die isoliert in einen an der vorderen Frontplatte befestigten Pertinaxstreifen eingesetzt sind und durch entsprechend ausgesparte Öffnungen der Zwischenwand in den Verdrahtungsraum ragen; rechts unten der Bereichsschalter, darüber der Eingangsspannungsteiler.

Abschließend soll noch auf einen häufig vorkommenden Fehler hingewiesen werden, der sich in einem unbeständigen, sprunghaft wechselnden Nullpunkt bemerkbar macht.

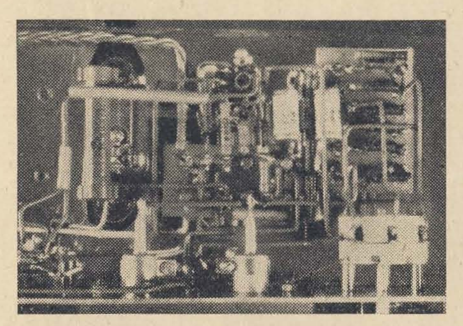


Bild 5. Verdrahtungsansicht des Röhrenvoltmeters

Ist dieses Zucken oder leichte Pendeln des Zeigers auf allen Meßbereichen gleich stark, dann weist die Röhre ECC 81 einen Fehler auf (Gitter-Feinschluß oder „kochende" Katode). Ist es nur auf niedrigeren Bereichen vorhanden bzw. dort stärker, so liegt ein Isolationsfehler – meist am Röhrensockel – vor (Kriechstrombildung z. B. zwischen Anoden- und Gitteranschluß). Hier hilft nur Auswechseln des Sockels, gegebenenfalls Abwaschen des Röhrenbodens mit Spiritus. Die Röhre sollte im übrigen vor dem ersten Einsetzen unbedingt auf Elektrodenschlüsse kontrolliert werden. Falls das Meßinstrument über die 50-μA-Buchsen (ohne RVM) benutzt wird, ist natürlich äußerste Vorsicht vor Überlastung geboten.

WECHSELSPANNUNGS-TASTKOPF ZUM RÖHRENVOLTMETER

Für Wechselspannungs-Messungen wird an den Eingang des RVM der im folgenden beschriebene Tastkopf angeschlossen. Er ist in dieser Form unmittelbar bis etwa 50 kHz (NF-Bereich) brauchbar. Über 50 kHz bis etwa 1 MHz wird direkt auf die Tastkopfspitze ein kleiner keramischer Kondensator von 500 pF aufgesteckt, für Frequenzen von 1 bis etwa 10 MHz einer von 50 pF. Die eine Anschlußfahne des Vorsteck-Kondensators wird dabei spiralförmig gebogen und auf die Tastkopfspitze aufgeschoben, die andere Anschlußfahne tastet direkt das Meßobjekt an. In der Tastkopfschaltung (Bild 6) sind diese Zusatzkondensatoren nicht zu sehen.

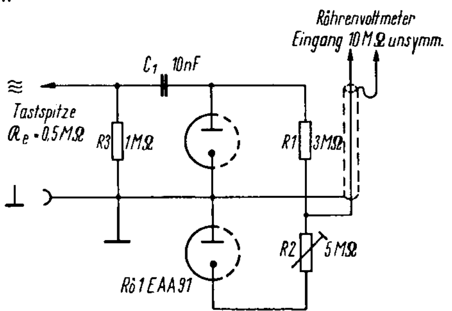


Bild 6. Wechselspannungs-Tastkopf zum Röhrenvoltmeter, Schaltung

Der Tastkopf wurde, wie Bild 6 zeigt, mit einer Röhre EAA 91 bestückt. Von der Verwendung einer Germaniumdiode, mit der dieser Tastkopf bedeutend kleiner und einfacher aufzubauen wäre, wurde jedoch aus praktischen Erwägungen abgesehen. Sämtlichen mit Halbleiterdioden üblicher Art bestückten Tastköpfen haftet ein prinzipieller Mangel an, auf den im Rahmen dieser Broschüre nur kurz eingegangen werden kann. Zunächst stellt eine Halbleiterdiode wegen ihres endlichen Sperrwiderstandes und ihrer frequenzabhängigen dynamischen Eigenkapazität eine zusätzliche Be-

lastung für das Meßobjekt dar und bringt zusätzliche, schwer überblickbare Meßfehler ein. Darüber hinaus stößt wegen ihres dynamischen Verhaltens die Bemessung des Ankoppelkondensators auf Schwierigkeiten, was in der Praxis oft übersehen wird. Keinesfalls ist es möglich – wie das in der Literatur hier und da vorgeschlagen wird – in einer üblichen röhrenbestückten Tastkopfschaltung die Röhre einfach durch eine Halbleiterdiode zu ersetzen. Derartige Schaltungen sind zwar billig und mit wenig Aufwand realisierbar, aber wegen zu großer Meßungenauigkeit praktisch wertlos, außerdem ist zu beachten, daß Halbleiterdioden nur eine begrenzte Spannungsfestigkeit haben und gegen Überlastung sehr empfindlich sind. Ein mit der handelsüblichen Diode OA 625 bestückter Tastkopf z. B. wäre dann nur bis etwa 8 Volt (!) herauf brauchbar, weil diese Diode nur eine Spitzenspannung von rund 25 V verträgt. Das entspricht einer Effektivspannung von etwa 16 V. Da durch die Reihenschaltung von Diode und Ladekondensator hier eine Spannungsverdopplung auftritt, müßten für Spannungen über 8 V Effektivwert zusätzliche Spannungsteiler vorgeschaltet werden. Außerdem ist die Gefahr der Beschädigung der Diode schon durch den Ladestromstoß des Ankoppelkondensators (z. B. beim Antasten von Gleichspannung führenden Punkten, Anodenleitungen usw.) sehr groß. Ein mit einer Röhre bestückter Tastkopf ist dagegen ohne besondere Vorkehrungen weitgehend überlastungsunempfindlich und kann bis zu sehr hohen Meßspannungen (500 V) benutzt werden. Es ist hiermit auch möglich, einen hohen Eingangswiderstand zu erzielen, der hier bei etwa 500 kΩ liegt. Gegenüber Halbleiterdioden haben Röhren lediglich den Nachteil, einen Anlaufstrom zu ergeben, der durch geeignete Maßnahmen kompensiert werden muß. In der angegebenen Schaltung – auf deren theoretische Behandlung an dieser Stelle aus Platzgründen verzichtet werden muß – geschieht das durch ein zweites Diodensystem. In Bild 6 dient das obere System der EAA 91 zur Gleichrichtung der Meßspannung, das untere zur Kompensation des Anlaufstromes der oberen Diode. Beide Dioden bilden eine Brückenschaltung, in deren Querzweig der Eingangswiderstand des RVM liegt – der Tastkopf wird an dessen

10-MΩ-Eingang angeschlossen. Mit R_2 wird dabei das „Brückengleichgewicht" eingestellt, d. h., bei angeschlossenem Tastkopf ohne Meßspannung wird R_2 so bemessen, daß am RVM keine Anzeige erfolgt. Stimmen die Diodensysteme der Röhre überein – bei neuen, einige Zeit eingebrannten Röhren wird das meist der Fall sein –, so wird R_2 wie R_1 ebenfalls 3 MΩ betragen. Nach Ermittlung des endgültigen Wertes wird er durch einen Festwiderstand ersetzt, da sich die Diodenanlaufströme später nicht mehr wesentlich ändern und geringe Änderungen gegebenenfalls am RVM mit dessen Nullpunktkorrektur ausgleichbar sind. Die Dimensionierung der Schaltung ist auf das zuvor beschriebene RVM abgestimmt und so getroffen, daß bei sinusförmiger Wechselspannung (bzw. nicht zu großer Abweichung von der Sinusform) am RVM der Effektivwert der Wechselspannung angezeigt wird.
Der Tastkopf wird in eine kleine runde Pertinaxhülse mit metallischer Innenabschirmung (oder Spulenbecher mit Isolierumhüllung) eingebaut. Eine prinzipielle Aufbauskizze gibt Bild 7. Die Tastspitze – ein Kupferstab von etwa 4 mm Durchmesser und 100 mm Länge, bis 3 mm vor die Spitze mit Ölschlauch bezogen – wird vorn spitz zugeschliffen und mit einer Keramik-Durchführungs-Buchse in das Tastkopfgehäuse eingesetzt. R_3 und C_1 sowie R_1 am Röhrensockel sind ganz kurz anzulöten. Für den Röhrensockel empfiehlt sich, falls öfters höhere HF-Spannungen gemessen werden sollen (z. B. an Sendern), ein Keramiksockel. Im übrigen ist der Aufbau ziemlich unkritisch. Vor zu gedrängter Bauweise sei jedoch im Hinblick auf die Meßgenauigkeit bei höheren Frequenzen gewarnt, vorsichtshalber sollte ein Gehäusemaß von etwa 45 mm Durchmesser und 120 mm Länge nicht unterschritten werden. Die Heizspannung für die EAA 91 wird mit aus dem RVM entnommen. Zweckmäßig sieht man an diesem von vornherein eine vierpolige Kupplung vor, die über zwei Pole die Heizspannung und über zwei Pole die Meßspannung führt. Allerdings ist hier nicht jede Kupplung geeignet, da auf beste Isolation des Meßspannungsanschlusses (er wird der 10-MΩ-Eingangs-Koaxbuchse im RVM parallelgelegt) geachtet werden muß. Möglich ist die Verwendung eines vierpoligen keramischen

Röhren-Stecksockels für diesen Zweck. Der Tastkopf erhält dann ein vieradriges Anschlußkabel, falls man es nicht vorzieht, für die Verbindung ein Koax-Kabel mit Stecker zu verwenden und die Heizleitung, wie in Bild 7 angedeutet, getrennt heranzuführen.

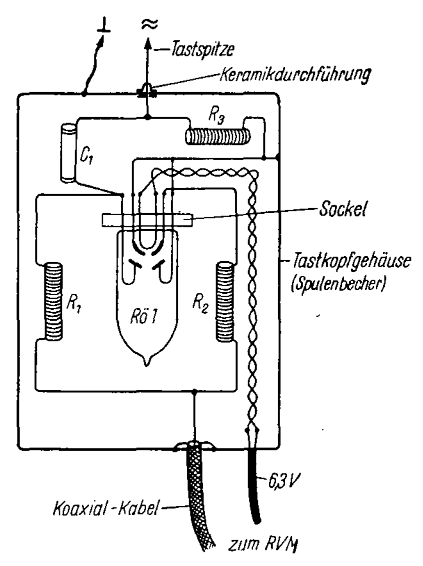


Bild 7. Wechselspannungs-Tastkopf zum Röhrenvoltmeter, Aufbauskizze

Für HF-Spannungsmessungen wird, wie einleitend bereits erwähnt, ein kleiner Zusatzkondensator auf die Tastkopfspitze aufgesteckt. Durch die Eigenheiten der Schaltung bedingt, kann bei manchen Messungen eine leichte Trägheit der Anzeige, besonders bei hohen Frequenzen, auftreten, die aber praktisch bedeutungslos ist. Zu beachten ist bei der praktischen Anwendung lediglich, daß das Meßobjekt im Moment des Antastens stoßartig belastet wird (Aufladung von C_1 bis zum Erreichen des Endwertes). In Einzelfällen kann diese Stoßbelastung zu bleibenden Verände-

rungen des Meßobjektes führen, z. B. Abreißen der Schwingungen eines Oszillators, wenn an ungünstigem Punkt angetastet wird, o. ä. Fälle. Dies ist prinzipiell nicht zu umgehen und bei allen mit direkter Gleichrichtung arbeitenden Tastköpfen der Fall.
Abschließend sei nochmals betont, daß es wenig sinnvoll ist, für diesen Tastkopf eine Kleinausführung mit Halbleiterdiode zu verwenden. Abgesehen von den zahlreichen praktischen Nachteilen ist in diesem Fall auch keine Gewähr für unmittelbar richtige Anzeige am RVM gegeben. Oft macht sich dann an ihm eine besondere Skaleneichung für Wechselspannungen notwendig, wozu jedoch dem Amateur meistens die nötigen Vergleichsmeßgeräte – es muß auch mit HF eingemessen werden! – fehlen. Demgegenüber bietet die im Zeitalter der Halbleitertechnik etwas konventionell anmutende röhrenbestückte Tastkopfschaltung den Vorteil, ohne besondere Eichung innerhalb eines großen Frequenzbereiches zuverlässige Ergebnisse zu erzielen. Die obere Frequenzgrenze ist im übrigen nur durch den Tastkopfaufbau vorgegeben und kann durch geschickte Gestaltung noch weit über 10 MHz hinaus getrieben werden, wenn auf geringstmögliche Nebenkapazitäten geachtet wird.

R-L-C-Z-Meßbrücke

Die im folgenden beschriebene Meßbrücke gestattet alle vorkommenden Widerstands-, Kapazitäts-, Induktivitäts- und Scheinwiderstandsmessungen mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit. Es sind durchführbar:

- Widerstandsmessungen von 0,1 Ω ... 10 MΩ mit = oder ~
- Kapazitätsmessungen von 10 pF ... 1000 μF (!) mit 50 Hz ~ (auch Elkos)
- Induktivitätsmessungen mit 50 Hz von 10 mH ... 1000 H, mit 5 kHz von 1 mH ... 10 H
- Scheinwiderstandsmessungen (NF-Impedanzen) von 1 Ω ... 10 MΩ mit 1 kHz

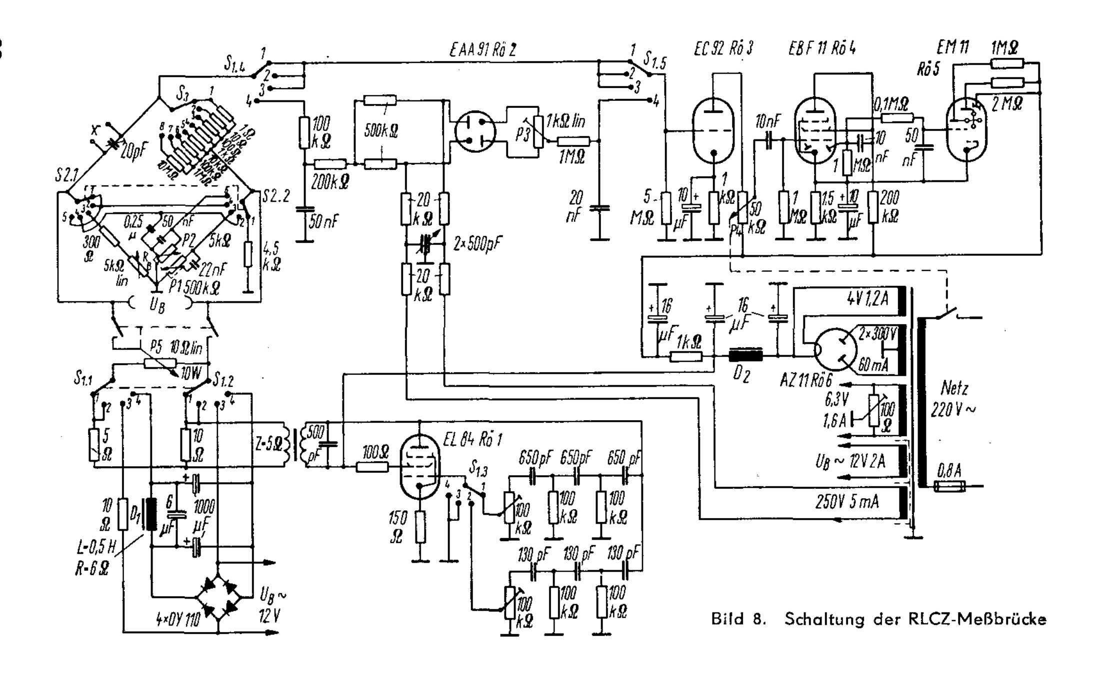


Bild 8. Schaltung der RLCZ-Meßbrücke

Bild 8 zeigt die Schaltung der R-L-C-Z-Meßbrücke. Sie besteht aus dem eigentlichen Brückenteil, dem Anzeigeverstärker mit Meßspannungswechselrichter, dem Netzteil und einem NF-Generator für die Meßfrequenzen 1 kHz und 5 kHz. Für alle Meßarten werden ausschließlich Widerstände als Vergleichsnormalien benutzt. Die bei C- und L-Messungen vorhandenen Verlustwiderstände des Meßobjektes werden mit dem Phasenregler P_1, P_2 (Tandemregler) ausgeglichen. Schalter S_3 ist der Meßbereichsschalter. Seine Schaltstellungen entsprechen folgenden Meßbereichen:

Stellung	R bzw. Z	C	L
1	0,1 Ω	100 µF	—
2	1 Ω	10 µF	—
3	10 Ω	1 µF	10 mH
4	100 Ω	0,1 µF	100 mH
5	1 kΩ	10 nF	1 H
6	10 kΩ	1 nF	10 H
7	0,1 MΩ	100 pF	100 H
8	1 MΩ	10 pF	—

Die Skala des Brücken-Abgleichreglers R_B ist unterteilt von 1 bis 10, die Ablesung geschieht nach der Gleichung:

$$X = R_B \cdot S_3$$

bzw. bei L-Messung für 5 kHz:

$$X = R_B \cdot S_3 \cdot 0{,}1$$

Gegenüber üblichen Brückenausführungen umfaßt die Eichung des Brückenreglers R_B also nur eine Dekade, was der Ablesegenauigkeit zugute kommt. Der dort abgelesene Wert wird also mit dem eingestellten Meßbereich multipliziert (bei 5-kHz-L-Messung noch mit 0,1) und ergibt den Wert des Meßobjektes.

Mit dem Schalter S_1 (fünf Kontaktebenen $S_{1.1 \ldots 5}$, vierstufig) wird die Meßspannungsart gewählt:

Stellung	Meßspannungsart bzw. -frequenz
1	1 kHz
2	5 kHz
3	50 Hz
4	Gleichspannung

Schalter S_2 (zwei Schaltebenen $S_{2.1 \ldots 2}$, fünfstufig) legt die Meßart fest:

Stellung	Meßart
1	R ~ oder R =
2	L ~ (50 Hz)
3	L ~ (5 kHz, Ablesung · 0,1)
4	C ~ (50 Hz)
5	Z ~ (1 kHz)

Wie aus der Aufstellung ersichtlich, gehört zu jeder Meßart eine bestimmte Meßspannungsart. Es ist daher bei Vorhandensein eines geeigneten Mehrebenenschalters (denkbar wäre auch die Verwendung eines Tastenschaltersatzes) mit sechs Stufen (bzw. Tasten) zweckmäßig, die Schalter S_1 und S_2 auf eine Achse zusammenzulegen, wobei die Stellung 1 des Schalters S_2 sinngemäß doppelt (einmal R =, zum anderen R ~ 50 Hz) vorzusehen ist.

Der Phasenregler P_1, P_2 steht bei Beginn der Messung grundsätzlich in Nullstellung (am masseseitigen Ende, jedoch bei Z-Messung am entgegengesetzten Anschlag) und wird nur, falls kein scharfes Anzeigeminimum erzielbar ist, wechselseitig mit R_B auf Minimum gebracht.

Regler P_5 (mit Schalter) erlaubt bei empfindlichen Meßobjekten eine Verringerung der Brückenspeisespannung, was jedoch mit geringerer Meßgenauigkeit verbunden ist. Normal ist P_5 stets voll aufgedreht. Über die Buchsen U_B kann die Meßspannung im Bedarfsfall gemessen oder – bei offenem P_5-Schalter – eine beliebige Meßspannung von außen zugeführt werden, was für Sonderfälle mitunter

wertvoll sein kann. – Die Meßspannungen (50 Hz) und Betriebsspannungen werden vom Netztrafo geliefert. Da sie völlig erdfrei sein müssen, sind innerhalb des Trafos Schutzwicklungen erforderlich. Der Trafo wird nach folgender Vorschrift gewickelt:

Von innen nach außen:

Netzwicklung
1200 Wdg., 0,35 CuL, 220 V

Schutzwicklung
1 Lage 0,12 CuL einpolig an Masse

Anodenwicklung
2 · 1880 Wdg., 0,15 CuL – je 300 V, 50 mA

Heizwicklung AZ 11
25 Wdg., 0,6 CuL, 4 V, 1,2 A

Heizwicklung Rö 1 . . . 5
40 Wdg., 0,9 CuL, 6,3 V, 1,6 A

Schutzwicklung
1 Lage 0,12 CuL einpolig an Masse

Steuerspannung Rö 2
1600 Wdg., 0,05 CuL, etwa 250 V, 5 mA

Schutzwicklung
1 Lage 0,12 CuL einpolig an Masse

Brückenspannung
75 Wdg., 0,9 CuL, 12 V, 2 A

Trafokern
M 74 (7,4 cm² Fe), Dyn. Bl. IV/035 wechselseitg geschichtet.

In Stellung 3 des Schalters S_1 erhält die Brücke von der 12-V-Wicklung des Trafos die 50-Hz-Spannung. Der vor Kontakt 3 des Schalters $S_{1.1}$ liegende 10-Ω-Widerstand begrenzt die Brückenspannung auf 6 Volt. Er ist erforderlich, um den Trafo vor Überlastung bei der Messung niederohmiger Objekte zu schützen. In diesem Falle geht die Brückenspannung weiter zurück, was durch den reichlich dimensionierten Anzeigeverstärker ausgeglichen wird. Die gleiche 12-V-Spannung speist einen in Graetz-Schaltung

arbeitenden Gleichrichter, der entweder mit Selenzellen (12 V, 2 A) oder mit den Germanium-Flächendioden OY 110 (WBN Teltow) aufgebaut wird. Die hiermit erzeugte Meßgleichspannung wird über eine Siebkette von Restwelligkeiten befreit. Da der Gleichstromwiderstand der Drossel – der gleichzeitig wieder als Strombegrenzung wirkt – nicht über 10 Ω liegen darf, ist ihre Induktivität angesichts der relativ hohen Ströme nicht sehr groß. Es sind daher 1000-µF-Siebelkos erforderlich. Im Mustergerät wurde eine Ringkerndrossel verwendet und der Siebfaktor dieser Siebkette durch die Resonanzkreisschaltung mittels einem der Drossel parallelliegenden 6-µF-Kondensator (das Ganze wirkt als Sperrkreis für 100 Hz) bedeutend verbessert. Der Wert von 6 µF für den Parallelkondensator gilt dabei nur für die angegebene Induktivität der Drossel von 0,5 H. Er ist bei Verwendung anderer Drosseln entsprechend umzurechnen. Ohne diese Resonanzkreisschaltung ist eine befriedigende Siebung kaum erreichbar und Störungen in der Arbeitsweise des elektronischen Zerhackers zu erwarten. – Als NF-Generator wurde wegen der aufzubringenden beträchtlichen Leistung eine EL 84 verwendet, die in RC-Phasenkettenschaltung schwingt. Damit ist eine hinreichend konstante und netzspannungsunabhängige Frequenz ohne besondere Stabilisierungsmaßnahmen erreichbar. Als NF-Trafo findet ein gewöhnlicher Lautsprecherübertrager Verwendung, der mit 10 Ω vorbelastet ist und die NF über 5 Ω (Schutzwiderstand) an die Brücke abgibt. Sie beträgt etwa 4 V~. Die 100-kΩ-Potentiometer in den RC-Phasenketten werden so eingestellt, daß der Generator bei der jeweiligen Frequenz gerade mit Sicherheit anschwingt. Der Abgleich auf Sollfrequenz erfolgt, falls erforderlich, durch Verändern eines oder zweier Widerstände in der jeweiligen Phasenkette. Werden die Werte genau eingehalten, dann stimmen die Frequenzen jedoch bereits mit genügender Genauigkeit. Trotzdem empfiehlt sich nach der Inbetriebnahme eine einmalige Kontrolle der Frequenzen.

Die Brückenspannung gelangt über $S_{1.4}$ und $S_{1.5}$ an den Anzeigeverstärker, der keine Besonderheiten aufweist. Der Empfindlichkeitsregler P_4 (mit Netzschalter) ist gleichzeitig Anodenwiderstand für Rö 3. Er wird zu Beginn einer Mes-

sung nur wenig, und erst, wenn das Minimum etwa gefunden ist, weiter aufgedreht. Sonst besteht die Gefahr, daß das Minimum beim Abgleich von R_B übersehen wird. Die als Triode geschaltete EBF 11 übernimmt die weitere Verstärkung und Gleichrichtung der Anzeigespannung. Die als Indikator dienende EM 11 liegt katodenseitig auf Katodenpotential der EBF 11, da sonst die Diode negativ vorgespannt würde. – Bei Messung mit Gleichspannung muß die von der Brücke kommende Anzeigespannung in eine Wechselspannung umgeformt werden, um die nachfolgende Verstärkung zu ermöglichen. Üblicherweise werden hierfür mechanische Zerhacker benutzt, was auch im vorliegenden Gerät durchaus möglich wäre. Jedoch bringt ein elektronischer Wechselrichter verschiedene Vorteile mit sich, daher wurde diesem hier der Vorzug gegeben. Das Prinzip beruht darauf, die im Wege der Anzeigespannung liegenden Dioden (Rö 2) durch eine Hilfswechselspannung periodisch auf- und zuzusteuern. Die Diodenstrecken der Rö 2 bilden mit ihren 500-kΩ-Widerständen eine Brückenschaltung, die mit dem Abgleichregler P_3 genau ins Gleichgewicht gebracht wird. Eine an den gegenüberliegenden Brückenpunkten angelegte erdsymmetrische Wechselspannung kann sich dann nicht bemerkbar machen. Führt man der Brücke nun eine Gleichspannung zu, so wird ihr Gleichgewicht gestört, und die Gleichspannung erscheint im Takt der Steuerfrequenz unterbrochen am Brückenausgang bei P_3. – In der Praxis ist dabei zu bedenken, daß die Diodenstrecken voneinander abweichen. Im geradlinigen Teil ihrer Kennlinien wird das mit P_3 ausgeglichen. Nicht in Übereinstimmung zu bringen sind jedoch die Kennlinienknicke im Anlaufstromgebiet der Dioden. Im Moment des Nulldurchganges der Steuerwechselspannung wird daher die Brücke kurzzeitig nicht symmetrisch sein, d. h., in diesem Moment erscheint die Steuerfrequenz impulsartig am Ausgang. Um diesen höchst unerwünschten Effekt zu beseitigen, muß die Steuerspannung zunächst sehr hoch (250 V) gewählt werden, damit das kritische Anlaufgebiet (0 ... ± 2 V) sehr rasch durchlaufen wird. Deshalb sind die in der Literatur hier und da zu findenden ähnlichen Schaltungen, bei denen die Steuerspannungen nur wenige Volt betragen, meist unbefriedi-

gend. Mit der hohen Steuerspannung erscheinen die Ausgangsimpulse jetzt nur als kurze Spitzen, die durch ein Tiefpaßglied (1 MΩ, 20 nF) zu unterdrücken sind. Der Abgleich des Meßwechselrichters bei dieser hohen Steuerspannung ist allerdings etwas kritisch. Trotz der unbedingt nötigen Schutzwicklung für die Steuerwicklung auf dem Netztrafo ist eine besondere Symmetrierung erforderlich, die – wie sich praktisch zeigte – kapazitiv erfolgen muß. Hierzu dient ein 500/500-pF-Differentialdrehkondensator (ersatzweise zwei normale 500-pF-Quetscher), auch richtet sich die Heizspannungs-Symmetrierung nur nach den Erfordernissen des Wechselrichters.
Beim Abgleich wird zunächst P_4 wenig aufgedreht, Schalter S_1 in Stellung 4 gebracht und P_5 zugedreht, so daß die Meßbrücke spannungslos ist. Die jetzt an Rö 5 angezeigte Spannung ist die Steuerspannung des Wechselrichters. Sie wird mit dem Differentialdrehko auf ein scharf ausgeprägtes Minimum gebracht. Hiernach wird mit P_3 ebenfalls das Minimum gesucht bzw. verbessert und dieser Abgleich wechselseitig mehrmals wiederholt. Danach wird die Heizung mit dem „Entbrummer"-Potentiometer 100 Ω ebenfalls auf Anzeigeminimum gebracht, P_3 nochmals nachgestellt und der Abgleich mit dem Differentialdrehko beendet. Nunmehr wird ein beliebiger Widerstand mit 50 Hz ~ genau gemessen (die übrige Brückenschaltung muß natürlich bis auf den Wechselrichter bereits einwandfrei arbeiten), R_B unverändert gelassen, auf Gleichspannung zurückgeschaltet und das Minimum durch nochmalige kleine Änderung von P_3 genau eingestellt. Damit ist der Abgleich beendet. Eine spätere geringfügige Diodenalterung der Rö 2 wird durch Anmessen eines beliebigen Widerstandes mit 50 Hz ~ und Gleichspannung (R_B auf 50-Hz-Minimum stehenlassen) und Nachstellen von P_3 wie eben beschrieben von Zeit zu Zeit ausgeglichen. – Die Meßgenauigkeit bei Gleichspannung liegt grundsätzlich (auch bei mechanischen Zerhackern!) etwas unter der mit 50 Hz ~ erreichbaren. Immerhin kann die Wechselrichter-Restspannung bei sauberem Aufbau und Abgleich in der Größenordnung von 10 mV gehalten werden. Wichtig ist jedoch ein sauberer, kapazitätsarmer und symmetrischer Aufbau des Wechselrichters.

Bild 9 zeigt die Frontansicht der Meßbrücke. Oben rechts ist die Indikatorröhre Rö 5 (EM 11) zu sehen, oben links P_5 (Brückenspeisespannung), in der Mitte Brückenregler R_B mit Skala (im Bild noch provisorisch geeicht); unter diesem die X-Buchsen, neben diesen links der Phasenregler P_1/P_2 und außen die U_B-Buchsen, ganz rechts P_4 mit Netzschalter; links unten Schalter S_2, Mitte unten S_3, rechts unten S_1. Die Rückansicht des als Einschub ausgeführten Gerätes zeigt Bild 10. Links ist der Netztrafo sichtbar, daneben Rö 6, die Netzdrossel D_2 und der Differentialdrehko des Wechselrichters. Über Netzdrossel und Differentialdrehko wurde auf einer senkrecht stehenden Pertinaxplatte die Wechselrichter-Baueinheit mit Rö 2 (querliegend) und rechts neben ihr P_3 angeordnet. Ganz rechts steht Rö 1 (NF-Generator). – Bild 11 zeigt die Aufsicht auf das Chassis. In Chassismitte liegen die beiden 1000-µF-Elkos und der Graetz-Gleichrichter der Brückengleichspannung. Für den Phasenregler P_1/P_2 wurden – da kein geeignetes Tandempotentiometer greifbar war – zwei normale Potentiometer auf Winkel hintereinander gesetzt und über eine geeignet gewinkelte Fahrradspeiche, die in seitlichen Durchbohrungen beider Reglerachsen sitzt, gekoppelt. Das vordere Potentiometer ragt mit seiner Achse durch die Frontplatte. Bei der Drehung nimmt die abgewinkelte Fahrradspeiche die Achse des axial dahintersitzenden zweiten Reglers mit. Da hier keine besonderen Gleichlaufforderungen gestellt werden, ist diese Lösung die einfachste. In Bild 11 ist ganz unten der NF-Übertrager der Rö 1 zu sehen, darüber das hintere Potentiometer des Phasenreglers mit der abgebogenen Fahrradspeiche. Links vorn Rö 1. Bild 12 zeigt die Chassis-Unteransicht mit der Verdrahtung. Die Ringkerndrossel D_1 ist deutlich sichtbar, darüber links oben das RC-Netzwerk des NF-Generators mit einem der 100-kΩ-Abgleichregler.

Die Verdrahtung hat nur wenige kritische Stellen. Es sind dies – neben dem Wechselrichter, der als gesonderte Einheit aufgebaut werden soll – die Brückenverdrahtung selbst sowie die am Schalter S_1 zusammenlaufende Verdrahtung. Grundsätzlich ist auf eine symmetrische Leitungsführung und auf geringste Erdkapazitäten aller Leitungen, auch der relativ niederohmigen Brückenspeiseleitungen, zu achten.

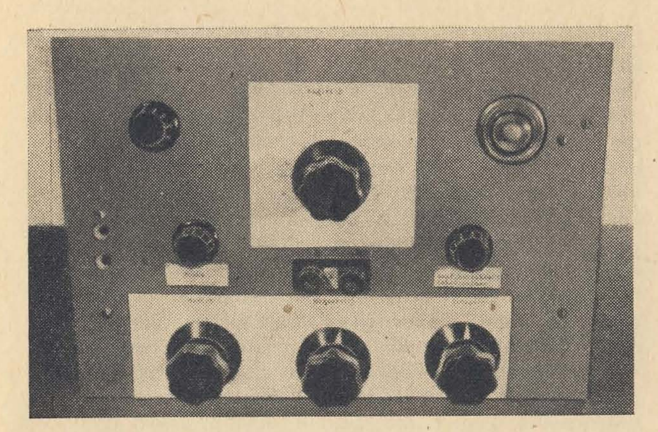


Bild 9. Frontansicht der RLCZ-Meßbrücke

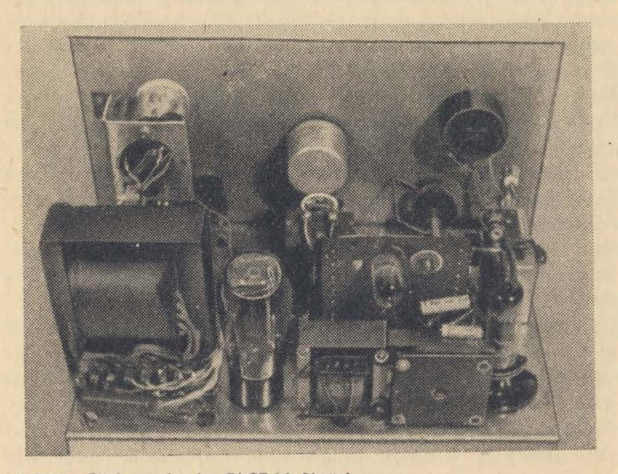


Bild 10. Rückansicht der RLCZ-Meßbrücke

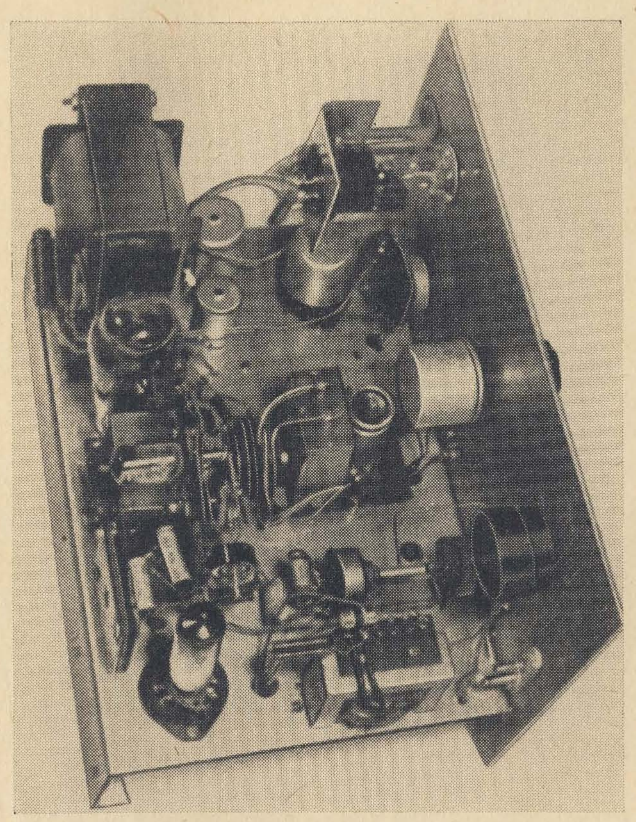


Bild 11. Chassisaufsicht auf die RLCZ-Meßbrücke

Ab Brückenpunkt Buchse X und Schalter S_3 bis zum Gitter der Rö 3 sind die Leitungen – einschließlich des gesamten Wechselrichters, der auch deshalb von anderen Bauteilen reichlich Abstand haben soll – sehr brummempfindlich. Es ist zu bedenken, daß die Eingangsempfindlichkeit des Anzeigeverstärkers immerhin der eines empfindlichen NF-Ver-

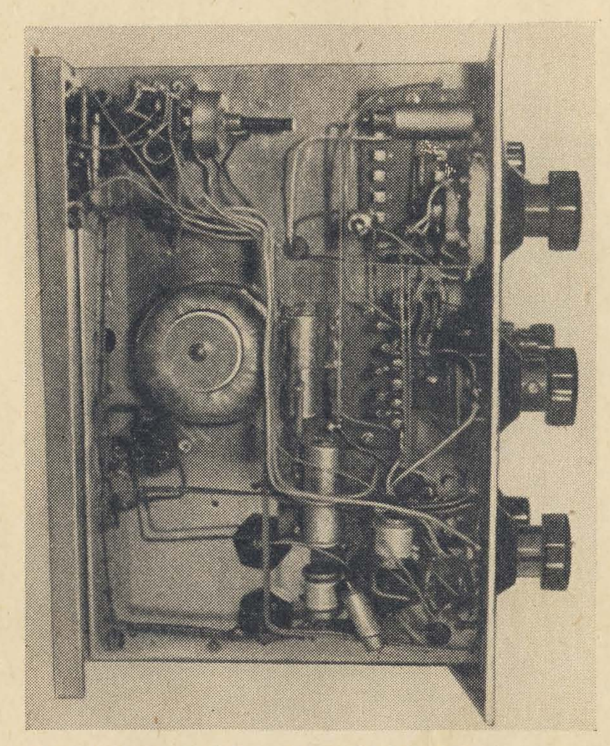


Bild 12. Verdrahtungs-Unteransicht der RLCZ-Meßbrücke

stärkers entspricht. Die dort üblichen Abschirmmaßnahmen (Abschirmkabel usw.) sind hier jedoch nicht angebracht, da sie zu Unsymmetrien Anlaß geben. Die Leitungsführung muß daher mit etwas Überlegung geschehen. Für die Widerstands-Normalien am Schalter S_3 sowie im Wechselrichter und in den RC-Phasenketten des NF-Generators müssen engtolerierte bzw. ausgesuchte Widerstände verwendet werden, da hiervon bei S_3 die Meßgenauigkeit abhängt und bei Wechselrichter und NF-Generator sonst

unnötige Komplikationen beim Abgleich auftreten können. Der den X-Buchsen parallelliegende Trimmer wird nach erfolgter Eichung von R_B in Stellung „1" dieses Reglers und Stellung 8 des Schalters S_3 mit 50 Hz Meßfrequenz auf Anzeigeminimum abgeglichen. R_B wird geeicht, indem ein 100-Ω-Widerstand größtmöglicher Genauigkeit an die X-Buchsen angeschlossen und S_3 in Stellung 4 gebracht wird. R_B wird jetzt auf Minimum geregelt und der gefundene Punkt mit „1" bezeichnet. Nunmehr ist der gleiche Vorgang mit einem genauen 1-kΩ-Widerstand zu wiederholen und der so gefundene Punkt mit „10" zu bezeichnen. Der zwischenliegende Bereich wird mit Winkelmesser in 10 gleiche Teile und diese wiederum jeweils in 10 weitere Teile unterteilt. Die so entstandene Skala stimmt dann auf allen Bereichen. Für R_B kommt nur ein völlig linearer Präzisionsdrehwiderstand (Drahtausführung) in Betracht. Schichtpotentiometer scheiden unbedingt aus. Es sind für diese Zwecke geeignete Präzisionsregler im Handel, deren Preis etwa das Doppelte normaler Regler beträgt. Als Bedienungsknopf für R_B kann entweder ein guter Zeigerknopf (evtl. Selbstbau) oder eine Noniusskala o. ä. verwendet werden.

Im Gebrauch ist die Meßbrücke in ein allseitig geschlossenes Metallgehäuse zu setzen und in jedem Falle zu erden. Die Meßobjekte sind kürzestmöglich anzuschließen (Handkapazität vermeiden!) und erdfrei zu halten.

KOMBINIERTER MESS-SENDER UND TONGENERATOR FÜR SINUS UND RECHTECK

Bei dem beschriebenen Gerät wurden aus Zweckmäßigkeitsgründen HF-Generator und NF-Generator zu einem Gerät vereinigt und aus gemeinsamem Netzteil versorgt. Das ermöglicht eine bedeutende Platzersparnis bei Anwendung der Gestellbauweise, praktisch wird damit ein kompletter Einschub gespart. Natürlich kann auch jeder der beiden Gerätekomplexe für sich als Einzelgerät mit eigenem Netzteil aufgebaut werden.

Bild 13 zeigt die Schaltung des Tongenerators. Er ist von 10 Hz bis 30 kH in drei Bereichen kontinuierlich durchstimmbar und gibt an einem niederohmigen Ausgang (1 kΩ) maximal 2 V ~ ab. Gleichzeitig ist die eingestellte Frequenz durch einfache Umschaltung als Sinus- oder (für oszillografische Zwecke z. B.) als Rechteckschwingung zu entnehmen. Damit ersetzt der Tongenerator gleichzeitig einen besonderen Rechteckgenerator.

Für die eigentliche Generatorschaltung wurde eine abgewandelte R-C-Phasenschieberschaltung benutzt, die extrem niedrige Frequenzen erreicht und auch über längere Zeit frequenzkonstant ist. Besonders angenehm ist hierbei, daß – im Gegensatz zu den gebräuchlichen RC-Schaltungen – die Frequenzeinstellung nur ein normales Einfachpotentiometer erfordert, also keine Gleichlaufprobleme auftreten. Röhre Rö 1 (ECC 82) bildet den Phasenschieber. Widerstand R_1 dient zum genauen Abgleich (Skaleneichung), R_2 ist der mit der Frequenzskala gekoppelte Einstellregler. Die an den Anoden von Rö 1 liegenden Kondensatoren werden über einen Tastenschalter je nach eingeschaltetem Frequenzbereich angelegt: Bereich 10 ... 300 Hz: a_1, a_2 geschlossen; 100 ... 3000 Hz: b_1, b_2 geschlossen; 1 kHz ... 30 kHz: c_1, c_2 geschlossen. Die drei Bereiche überlappen sich also etwas. Sind die C-Werte genau, dann stimmen auch die Bereichseichungen an der Einstellskala von R_2 überein, so daß diese nur eine Eichung von 1 ... 30 erhält, die dann bei der Ablesung entsprechend mit 10, 100 oder 1000 malgenommen wird. Die Anoden- und Katodenwiderstände 35 kΩ bzw. 10 kΩ der Rö 1 sollen einander genau wertgleich (2 Prozent) sein. Zweckmäßig werden sie vor Einbau ausgemessen, wobei es weniger auf den Absolutwert als auf Gleichheit ankommt. Auch die frequenzbestimmenden Kondensatoren an den Kontakten a ... c sollen engtoleriert sein. Alle anderen Werte können 10 Prozent Toleranz aufweisen. Die Schaltung beruht wie jede derartige auf dem Rückkopplungsprinzip. Als Rückkopplungsröhre wirkt das Hexodensystem der Rö 2 (ECH 81, das Triodensystem ist unbenutzt). Da nur geringe Verstärkung benötigt wird – die Stufe sorgt hauptsächlich für die erforderliche 180°-Phasendrehung, ist über das Hexodengitter 3 anzusteuern.

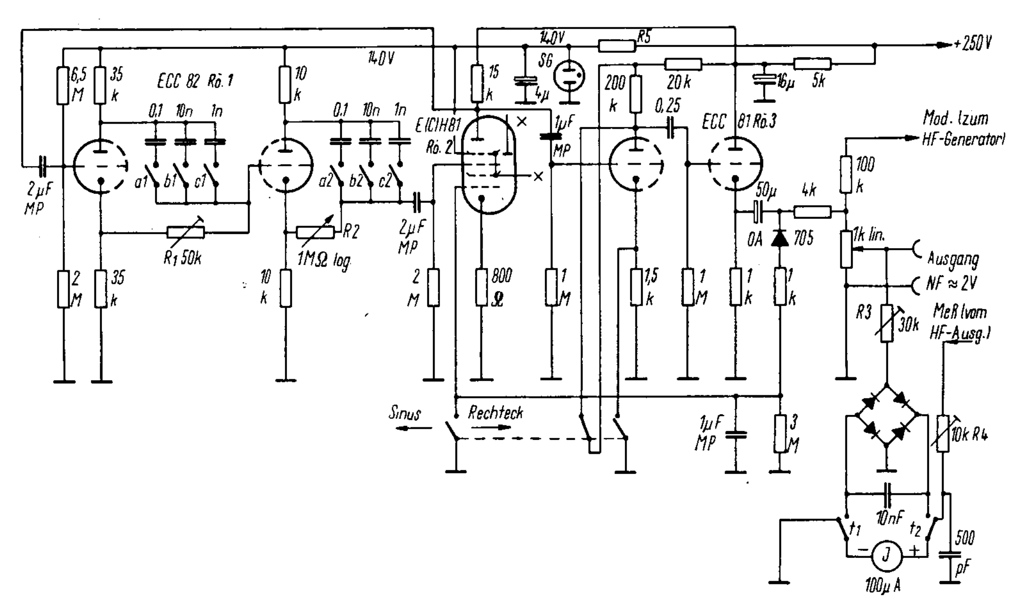


Bild 13. Schaltung des Tongenerator-Teiles des kombinierten HF- und NF-Generators

Gitter 1 der Rö 2 dient zur Amplitudenregelung. Um zusätzliche Phasendrehungen bei tiefen Frequenzen zu vermeiden, sind die Koppelkondensatoren im Generator mit je 2 µF ungewöhnlich groß bemessen, der Phasenschieber selbst ist aus gleichen Gründen gleichstromgekoppelt. Für die 2-µF-Kondensatoren kommen nur hochwertige MP-Becher-Kondensatoren in Frage, die in einigem Abstand vom Chassis isoliert gesetzt werden müssen und geringstmögliche Kapazität gegen das Chassis haben sollen. Anderenfalls ist ein Arbeiten bei hohen Frequenzen kaum erreichbar. Ihrer Montage ist daher besondere Aufmerksamkeit zu widmen. – Von der Anode der Rö 2 wird die NF einmal für den Rückkopplungszweig abgegriffen, zum anderen an die nachfolgende Verstärkerstufe Rö 3 (ECC 81) abgegeben und hier auf etwa 10 V verstärkt. In der Normalstellung „Sinus" ist diese Stufe als normaler Verstärker mit Ra = 20 kΩ geschaltet. Im zweiten System der Triode Rö 3, das als Katodenausgang geschaltet ist, erfolgt die Impedanzwandlung. Von der Katode wird die NF über den 50-µF-Auskoppelelko abgenommen und über einen Entkopplungswiderstand dem Ausgangsspannungsregler (1 kΩ linear) zugeführt.

Die automatische Amplitudenregelung konnte im Hinblick auf die an sich amplitudenkonstante Generatorschaltung relativ einfach gehalten werden. Die von der Katodenstufe abgegebene NF wird einer Germaniumdiode OA 705 (VEB WBN) zugeführt und gleichgerichtet. Die Regelgleichspannung gelangt über ein Siebglied mit relativ großer Zeitkonstante (3 MΩ/1 µF) zum Gitter 1 der Phasenumkehrröhre Rö 2. Wichtig ist dabei der sehr große Sperrwiderstand der Diode; andere als die angegebene bzw. vergleichbare Typen sind kaum brauchbar. Falls sich später bei tieferen Frequenzen ein „Flattern" der Amplitude bemerkbar macht, ist meist eine fehlerhafte oder ungeeignete Diode die Ursache. Wegen der relativ großen für die Regelung zur Verfügung stehenden NF-Spannung und der Schaltung von Rö 2 ergibt sich eine große Regelsteilheit der Anordnung. Das hat den Vorteil, daß sich die Schaltung stets selbst präzise auf den günstigsten Arbeitspunkt des Eben-Anschwingens einregelt. Neben völlig konstanter

Amplitude wird dadurch eine sehr saubere, oberwellenfreie Sinusschwingung erzielt. Über den gesamten Frequenzbereich bleibt dadurch die Amplitudenabweichung innerhalb 1 dB und der Klirrfaktor weit unter 1 Prozent.

Für die Erzeugung von Rechteckschwingungen setzt man mittels des Schalters „Rechteck" – es wird hierfür, wie später gezeigt, eine der Tasten des Tastenschalters benutzt – die Amplitudenregelung durch Kurzschluß außer Betrieb. Durch die jetzt fehlende Verstärkungsregelung schwingt sich der NF-Generator nunmehr bis zum Maximalwert auf und gibt eine durch Eigenbegrenzung schon fast rechteckige NF-Schwingung von einigen Volt an Rö 3 ab (im Normalbetrieb „Sinus" dagegen nur etwa 100 mV). Rö 3 arbeitet jetzt als Begrenzer mit $Ra = 200 + 20$ kΩ und kurzgeschlossenem Katodenwiderstand. Damit und durch die Übersteuerung der Rö 3 steht an ihrer Anode ein sehr sauberes Rechteck zur Verfügung, dessen Frequenz wie üblich mit R_2 einstellbar ist. Am Ausgangsregler steht die Rechteckschwingung mit etwa dem doppelten Wert der normalen Sinusschwingung (etwa 4 V_{ss}) zur Verfügung.

Der Ausgangsspannungsregler kann direkt geeicht werden. Für die genaue Kontrolle der abgegriffenen Ausgangsspannung wurde ein 100-μA-Meßinstrument vorgesehen, das gleichzeitig zur Kontrolle der HF-Ausgangsspannung des Meßsenders mitbenutzt wird. Diese Umschaltung erfolgt durch eine Taste des Tastenschalters mit den Kontakten t_1/t_2 (Bild 13). Da der im Mustergerät verwendete Neumann-Tastenschaltersatz das gleichzeitige Eindrücken zweier Tasten zuläßt, ist diese Lösung die günstigste. Normalerweise liegt das Meßwerk am HF-Ausgang, durch Drücken von $t_{1 \ldots 2}$ wird es auf einen Graetzgleichrichter umgeschaltet, der die am NF-Ausgang vorhandene NF-Spannung – die über den Eichregler R_3 abgegriffen wird – gleichrichtet. Für den Gleichrichter fand im Mustergerät ein Kupferoxydul-Meßgleichrichter („Maikäfer") Verwendung, jedoch sind Sirutoren oder Germaniumdioden (OA 625 o. ä.) ebenfalls geeignet. Der parallelliegende 10-nF-Kondensator dient zur Entkopplung gegen die HF-Seite des Gerätes. Er darf nicht größer gewählt werden, da sonst die Meßwerkanzeige frequenzabhängig würde. Die Meßwerk-

schaltung arbeitet aus diesem Grunde auch ohne jeden Ladekondensator. Anders sind die tiefen Frequenzen nicht einwandfrei meßbar. R_3 wird bei Inbetriebnahme einmalig eingestellt (Vergleich der Meßwerkanzeige mit einem am NF-Ausgang angeschlossenen Röhrenvoltmeter bei etwa 1 kHz), ebenso sinngemäß R_4 für die Anzeige der HF-Spannung, wozu allerdings ein Röhrenvoltmeter für etwa 1 V HF-Spannung am HF-Ausgang nötig ist.

Der NF-Generator erhält vom Netzteil (Bild 14) 250 V Anodenspannung. Für Rö 1 und die Schirmgitter der Rö 2 wird diese Spannung auf 140 V stabilisiert, wofür im Mustergerät ein alter kommerzieller Glimmstabilisator verwendet wurde. Hier ist jeder andere Stabi-Typ für etwa 150 V Brennspannung geeignet, z. B. die bekannte, auch im HF-Generator (vgl. Bild 14) verwendete GR 150 DA. Der Netzteil nach Bild 14 weist keinerlei Besonderheiten auf. Der Netztrafo soll nicht zu schwach dimensioniert werden.

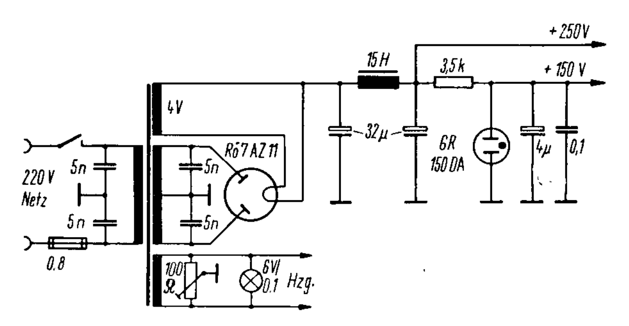


Bild 14. Schaltung des Netzteiles für den HF-NF-Generator

Auf die mechanische Gestaltung des Tongenerators, insbesondere des Einstellreglers R_2, wird später eingegangen. Es findet hierfür ein normales Potentiometer 1 MΩ mit logarithmischer Kennlinie Verwendung. Angeschlossen werden Schleifer und das normalerweise masseseitige („kalte") Potentiometerende, womit ein sehr ausgeglichener Skalenverlauf erreicht wird. Allerdings liegt dann die höchste

Frequenz (kleinster Widerstand) am linken Ende des Drehwinkels. Dieser Schönheitsfehler wird durch geeignete Gestaltung des Antriebs (oder auch durch Verwendung eines negativ-logarithmischen Reglers) vermieden. Mit R_1 läßt sich bei der erstmaligen Eichung der gesamte Frequenzbereich etwas verschieben, falls einer der Skalen-Endpunkte 1 oder 30 außerhalb des Regler-Drehbereiches von R_2 liegt. Für die Ersteichung ist ein guter Tongenerator und möglichst ein Oszillograf für den Frequenzvergleich (behelfsweise ein NF-Verstärker, dem beide Frequenzen zugeführt werden, es wird dann auf Schwebungsnull abgeglichen) erforderlich. Wenn die Werte der Phasenschieber-Einzelteile genau stimmen, genügt es, nur den mittelsten Bereich (100 ... 3000 Hz) zu eichen. Die Skala muß wegen der nichtlinearen Reglerkennlinie jedoch punktweise aufgenommen und gezeichnet werden.

Die Amplitudenkonstanz kann sehr einfach durch Beobachtung des Ausgangsspannungsmessers beim Durchdrehen der Frequenzen beobachtet werden. Die Spannung darf bei langsamem Durchstimmen nicht schwanken. Bei schnellem Durchdrehen oder Umschalten des Bereiches setzt der Generator mitunter kurzzeitig aus und schwingt erst nach 1 bis 2 Sekunden wieder an, was durch die große Regel-Zeitkonstante bedingt ist.

Es wird nun die **Schaltung des HF-Generators** behandelt, die Bild 15 zeigt. Sie ist – um den Aufwand in tragbaren Grenzen zu halten – relativ einfach ausgelegt. Der Oszillator arbeitet in normaler Rückkopplungsschaltung. Für die Eichkontrolle wurde ein 1-MHz-Quarz-Eichmarkengeber vorgesehen. Außerdem wurde eine zusätzliche Möglichkeit für genaueste Frequenzmessungen vorgesehen, um das Gerät vielseitig ausnutzen zu können. Der Oszillator ist mit einer ECH 11 (Rö 4) bestückt, als Spulensatz fand im Mustergerät ein Meßsender-Spulensatz mit fünfteiligem Tastenschalter der Fa. Mira, Kurt Michel, Erfurt, Verwendung. Da der Tastenschalter genau der üblichen Neumann-Ausführung entspricht, kann der Spulensatz selbstverständlich auch selbst auf einen solchen aufgebaut werden. Es werden dann zweckmäßig normale Einkreiser-Spulen verwendet (die Drehkos C_1/C_2 in Bild 15 liegen dann wie üblich gitterseitig)

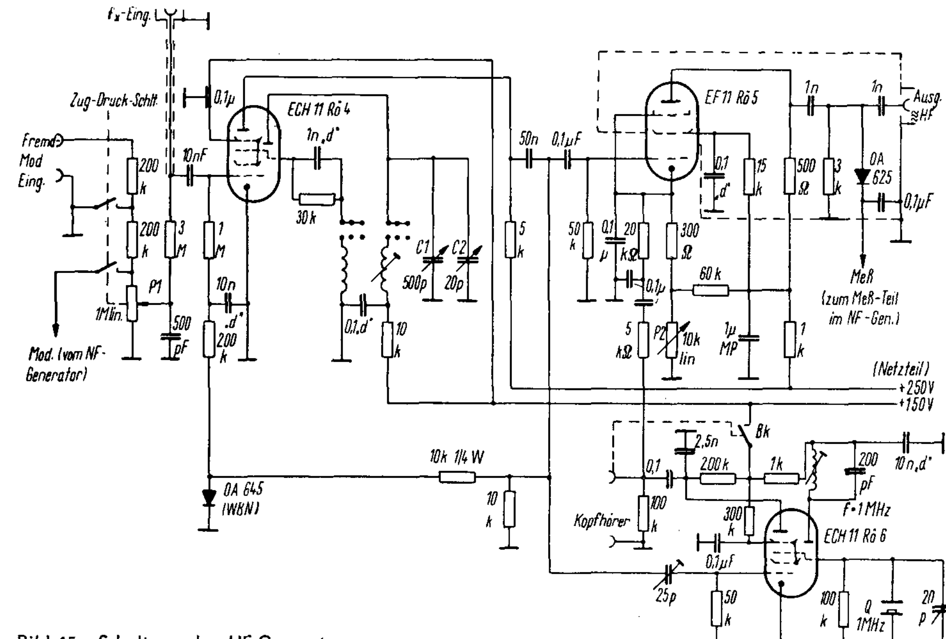


Bild 15. Schaltung des HF-Generators

bzw. diese nach den überall zu findenden üblichen Spulen-Wickelanleitungen selbst gewickelt. Für den ZF-Bereich II wird dabei zweckmäßig von einer Langwellenspule ausgegangen, die entsprechend abgewickelt wird. Es stehen dann bei Verwendung eines üblichen 500-pF-Luftdrehkos folgende Frequenzbereiche zur Verfügung:

Bereich	I:	100 ... 300 kHz	(Langwelle)
	II:	300 ... 700 kHz	(ZF-Bereiche)
	III:	600 ... 1600 kHz	(Mittelwelle)
	IV:	1,5 ... 4,5 MHz	(Kurzwelle I)
	V:	4,5 ... 14 MHz	(Kurzwelle II und UKW-ZF)

Die Bereiche überlappen sich also hinreichend. Darüber hinaus ist es bei sauberem Aufbau möglich, die Oberwellen des Bereiches V noch bis zur 11. Oberwelle (!) nutzbar zu machen, so daß mit der nötigen Übung und unter Benutzung der Quarz-Eichgenauigkeit sogar noch ein Feinabgleich von grob (z. B. mit Griddipper) vorabgeglichenen UKW-Kreisen möglich ist. Da die Genauigkeit der Oberwelle durch den Quarzvergleich hierfür völlig zureicht, ist der Generator daher für werkstattmäßige Messungen bis 150 MHz verwendbar und damit für den Abgleich sogar von 2-m-Band-Geräten ausreichend.
Die Schaltung des eigentlichen Oszillators (Triodenteil der Rö 4, Bild 15) bietet keinerlei Besonderheiten. Mit dem Tastenschalter werden die zum jeweiligen Bereich gehörigen Spulen – hier vereinfacht angedeutet – eingeschaltet. Dem geeichten Abstimmdrehko C_1 parallel liegt ein kleiner Lufttrimmer C_2, der von außen einstellbar ist und zur Nacheichung dient. Mit ihm kann die Skaleneichung um wenige Prozent verschoben werden. Die Anode des Oszillators sowie die Schirmgitter der Hexode erhalten eine im Netzteil (Bild 14) stabilisierte 150-V-Spannung. Die Schirmgitter der Rö 4 werden direkt am Sockel mit einem 0,1-µF-Durchführungskondensator abgeblockt. Die Hexode der Rö 4 dient zur Entkopplung und Verstärkung der HF sowie zur Modulation und Amplitudenregelung. Moduliert wird bedarfsweise über Gitter 1, wobei mit P_1 der Modulationsgrad einstellbar ist. P_1 kann gegebenenfalls in „Prozent Modulationsgrad" geeicht werden, wozu jedoch ein Oszillograf benötigt wird.

Dieser Regler hat einen Zug-Druck-Schalter, der zur Umschaltung von Fremdmodulation (mittels beliebiger über die Fremd-Modulations-Eingangsbuchsen zuzuführender NF-Spannung) auf Eigenmodulation dient. Bei Eigenmodulation wird dabei die NF-Ausgangsspannung des Tongeneratorteiles (Bild 13) abgegriffen, dort ist also die Modulationsfrequenz einstellbar. Damit ist in der Praxis z. B. leicht der Frequenzgang eines Empfängers „über alles" aufzunehmen und der Einfluß der Empfänger-Bandbreite meßtechnisch leicht erfaßbar. Hierin liegt der Vorteil gegenüber einer feststehenden Modulationsfrequenz. Von der Hexodenanode der Rö 4 gelangt die HF einmal zur Ausgangsspannungs-Regelstufe Rö 5, außerdem zweigt hier die Amplitudenregelung ab. Die HF wird mit einer Germaniumdiode OA 645 in üblicher Weise gleichgerichtet und über ein RC-Siebglied dem Hexodengitter 1 als Regelspannung zugeführt. Diese Schaltung entspricht prinzipiell der Schwundregelung in einem Superhet-Empfänger und reicht völlig aus. Zu beachten ist bei der Verdrahtung dieses Zweiges lediglich, daß keine zu großen Erdkapazitäten entstehen. Ein Ansteigen der Ausgangsspannung bei höheren Frequenzen ist das Zeichen dafür. Die mit „d" gekennzeichneten Kondensatoren sollen dämpfungsarme Kondensatoren (Styroflex, Sikatrop rot o. ä.) sein.

Die Ausgangsspannung wird mit der Regelröhre EF 11 geregelt. Dadurch ist bei einwandfreiem Aufbau ein Herabregeln der Ausgangsspannung bis auf wenige µV möglich. Die Herabregelung der Ausgangsspannung auf geringe Werte hat in der Praxis ausschlaggebende Bedeutung, andererseits bildet sie das Hauptproblem bei der Gestaltung eines Meßsenderausganges. Die Schaltung beruht auf der teilweisen bzw. völligen Sperrung von Rö 5 durch Erhöhen ihrer Gittervorspannung mittels P_2. Dieser Ausgangsregler ist dabei HF-mäßig „kalt", seine Leitungsverlegung daher wenig kritisch, so daß er an geeigneter Stelle montiert werden kann. Bei völlig gesperrter Rö 5 (P_2 auf größtem Wert) ist das Steuergitter gegen die Anode noch durch das Schirmgitter entkoppelt. Da diese beiden Anschlüsse auch außen am Sockel der Röhre durch ein Abschirmblech getrennt sind und die gesamte Ausgangsverdrahtung ab

Rö 5-Anode in einer völlig geschlossenen Metallkammer abgeschirmt ist, wird tatsächlich eine nahezu restlose Entkopplung des Ausganges vom Meßsender möglich, wie das auch Bild 15 andeutet. Natürlich ist dabei wiederum die richtige und überlegte Wahl aller Erdpunkte sowie die Verwendung eines dämpfungsarmen (möglichst Durchführungs-)Kondensators für das Schirmgitter der Rö 5, der direkt am Massepunkt dieser Stufe geerdet werden muß, Voraussetzung.

Der Anodenwiderstand der Rö 5 ist mit nur 500 Ω (Schichtwiderstand!) bemessen, wodurch erreicht wird, daß der Ausgang nahezu unabhängig von Ausgangsbelastung und Frequenz bleibt.

In der Ausgangs-Abschirmkammer ist die Diode OA 625 zur Gleichrichtung der HF-Ausgangsspannung für das Meßwerk mit untergebracht. Der von ihr gegen Masse liegende 0,1-µF-Ladekondensator soll möglichst wieder ein Durchführungskondensator sein. Die gleichgerichtete Spannung wird dem Meßwerk nach Bild 13 über dessen Tastenumschalter zugeführt. Naturgemäß sind damit nur höhere HF-Spannungen meßbar, nicht aber die meist benötigten geringen Werte von allenfalls wenigen Millivolt. Jedoch erlaubt das Meßgerät außer der Eigenkontrolle der Funktion des Generators nötigenfalls auch die Messung geringer Spannungswerte durch einen kleinen Kunstgriff. Man arbeitet dann mit höheren Ausgangsspannungen, die noch gut ablesbar sind, und untersetzt die HF-Spannung direkt am Ausgang mit einem kleinen, vorsteckbaren kapazitiven Spannungsteiler, Dieser besteht aus einer kleinen, völlig geschlossenen Blechhülse, die an einem Ende einen Koax-Stecker, am anderen Ende wiederum eine Koax-Buchse trägt. Zwischen beiden liegt als Verbindung (Längskondensator) ein 10-pF-Kondensator, dahinter gegen Masse (Hülse) ein 10-nF-Kondensator. Das Ganze ergibt eine Spannungsuntersetzung von 1 : 1000. Am Ausgang dieses Zwischenstückes steht dann eine Spannung zur Verfügung, deren Höhe soviel Millivolt beträgt, wie das Meßgerät Volt anzeigt. Die Zuführung der HF zum Prüfling geschieht über ein normales Koax-Antennenkabelstück, wobei der Spannungsteiler noch den Vorteil eines extrem niedrigen Quellwiderstandes bringt.

Die Schaltung der Ausgangsstufe mit Rö 5 – die an sich keine Regelröhre darstellt, was hier von Vorteil ist – begünstigt wesentlich die Bildung von Oberwellen besonders in herabgeregeltem Zustand. Da die Ausgangsverdrahtung ab Anode Rö 5 sehr kapazitätsarm und ohne Verwendung von Schaltdraht aufgebaut wird, treten an dem niederohmigen Arbeitswiderstand auch die Oberwellen höherer Ordnungszahl noch mit hinreichender Stärke auf und sind bis etwa 150 MHz ausnutzbar, ein Vorteil, der sich durch die Schaltungsart der Ausgangsstufe zusätzlich ergibt.
Natürlich muß der Meßsender in einem völlig geschlossenen, eine einwandfreie Abschirmung bildenden Metallgehäuse betrieben werden, da sonst die aus dem Generator abgestrahlte vagabundierende HF die gesamte Ausgangsregelung illusorisch macht.
Es ist nun noch die Schaltung des Quarz-Eichmarken-Oszillators zu betrachten. Er ist mit einer ECH 11 (Rö 6) bestückt, deren Triodensystem in Pierce-Schaltung arbeitet. Der Anodenkreis wird auf die Quarzfrequenz 1 MHz abgestimmt. Im Mustergerät fand ein 1-MHz-Quarz kommerzieller Herkunft Verwendung. Geeignete Quarze stellt auch der VEB Carl Zeiss Jena her. Ein Quarz mit anderer, insbesondere mit „krummer" Frequenz wirkt sich ungünstig aus, da er die spätere Umrechnung der Schwebungsfrequenzen erschwert. Eine tiefere Frequenz ist ebenfalls ungünstig, denn es ergeben sich dann derart viele Pfeifstellen, daß die sichere Bestimmung der Schwebungsfrequenzen unübersichtlich wird.
Der 1-MHz-Anodenkreis der Quarzstufe wird aus einer Einkreiser-Langwellenspule o. ä. hergestellt und vor Einbau auf 1 MHz bzw. ein klein wenig höher vorabgeglichen. Der dem Quarz parallelliegende Trimmer wird so weit herausgedreht, daß der Quarz gerade sicher anschwingt. Danach ist der Anodenkreis auf höchste Quarzamplitude nachzustimmen (Pfeifstellen-Lautstärke!).
Im Hexodensystem der Rö 6 werden die Quarzfrequenz und die vor Rö 5 über den 25-pF-Trimmer abgegriffene Meßsenderfrequenz gemischt. Da die Hexodenanode über 2,5 nF HF-mäßig an Masse liegt, treten im Anodenkreis nur die niederfrequenten Schwebungen (Differenzschwingungen) auf,

sobald die Quarz- und Meßsenderfrequenz bzw. ihre Oberwellen übereinstimmen. Bei der Eichung werden diese Schwebungen mit Kopfhörer abgehört. Die günstigste Einstellung des 25-pF-Trimmers ist nach dem günstigsten Mischverhältnis (Kompromiß über alle Bereiche) auszuprobieren.
Die Quarzstufe erhält ihre Anodenspannung über den Kontakt BK. Für den Kopfhöreranschluß wurde eine Schaltbuchse verwendet, die bei Einführen des Steckers den Kontakt BK schließt. Bei abgezogenem Kopfhörer ist daher der Quarz automatisch abgeschaltet.
Es soll nun auf den Vorgang der Eichung näher eingegangen werden. Die Ersteichung des Meßsenders, die naturgemäß einige Sorgfalt und Geduld voraussetzt, wird vorgenommen, nachdem das Gerät bei Zimmertemperatur etwa 1 Stunde in Betrieb gehalten wurde. Der Nacheich-Regler C_2 ist halb herauszudrehen (50 Prozent Kapazität) und verbleibt so während der gesamten Eichung. Die Ersteichung erfolgt nun in grundsätzlich bekannter Weise mittels Vergleichs-Meßsender und Empfänger bzw., wenn vorhanden, einem guten Frequenzmesser. Zunächst werden die Spulen abgeglichen (Bereichsfestlegung), dann die Skala von C_1 aufgenommen und beschriftet. Dabei wird vor endgültiger Beschriftung der 1-MHz-Punkt im Bereich III möglichst genau abgestimmt, jetzt der evtl. benutzte Vergleichs-Meßsender abgeschaltet und die Quarzstufe durch Anstecken des Kopfhörers eingeschaltet. Die Quarzstufe wurde zuvor, wie beschrieben, eingestellt. Jetzt muß im Kopfhörer bereits ein Schwebungspfiff hörbar sein, andernfalls stimmen die Vergleichsgeräte nicht. Der Meßsender wird nun mit C_1 (nicht C_2) genau auf Schwebungsnull abgeglichen und dieser Punkt auf der Skala besonders markiert. Er kann als Bezungspunkt für alle späteren Kontrollen dienen. Nunmehr kann die Meßsenderskala für alle Bereiche in üblicher Weise geeicht werden.
Bei den späteren betriebsmäßigen Eichkontrollen (bei jeder genauen Messung) geht man so vor, daß unmittelbar vor Meßbeginn (der Meßsender muß natürlich vor jedem Gebrauch wenigstens 30 Minuten eingeschaltet sein, um Frequenzkonstanz zu erreichen) ein Quarz-Eichpunkt

(Schwebungspfiff) in nächster Nähe der für die Messung benötigten Frequenz aufgesucht wird. Diese Eichpunkte werden wie üblich nach den Oberwellenverhältnissen errechnet, was bei einiger Übung im Handumdrehen geht. Zur ersten Übersicht sollen im folgenden einige Eichpunkte der einzelnen Bereiche genannt werden, wobei in Klammern die Ordnungszahlen der Oberwellen (Meßsender/Quarz) genannt sind. Es ergeben sich z. B. Pfeifstellen

im Bereich I bei 100 kHz (10./Grundw.), 166,6 kHz (6./Grundw.), 200 kHz (5./Grundw.) usw.,

im Bereich II bei 333,3 kHz (3./Grundw.), 500 kHz (2./Grundw.), letzterer Eichpunkt geeignet bei Benutzung der ZF 468 oder 473 kHz,

im Bereich III bei 1 MHz (Grundw./Grundw.), 666,6 kHz (3./2.), 1,333 MHz (3./4.) usw.,

im Bereich IV bei 2 MHz (Grundw./2.), 3 MHz (Grundw./3), 4 MHz (Grundw./4.) usw.,

im Bereich V bei 6 MHz (Grundw./6.), 7 MHz (Grundw./7.) usw.

Diese Beispiele sind wahllos herausgegriffen. In der Praxis liegen die Pfeifstellen noch weit dichter, wie leicht einzusehen ist. Dabei kann an der Stärke des Überlagerungstones etwa abgeschätzt werden, ob es sich um Grund- oder Oberwelle sowie welcher Ordnung handelt, was die Orientierung erleichtert. Man sucht sich also praktisch in der Nähe der benötigten Frequenz eine nicht zu schwache Pfeifstelle, bringt diese auf Schwebungsnull und kann dann leicht abschätzen, aus welcher Grund- und Oberwelle des Meßsenders bzw. Quarzes diese Stelle gebildet wird. Damit ist die tatsächliche Meßsenderfrequenz an dieser Skaleneinstellung genau bestimmt. Falls die Skaleneichung abweicht, kann mittels des Eichreglers C_2 jetzt der Meßsender auf die richtige Skalenstelle „gezogen" werden (C_1 mit Skala auf Sollwert einstellen, dabei mit C_2 die Schwebungs-Nullstelle nachziehen). Damit ist die Eichung mit größter Genauigkeit kontrolliert. Ein etwaiges, thermisch oder anderweitig bedingtes, geringes „Weglaufen" der Meßsenderfrequenz während einer längeren Betriebszeit – das übrigens beim Mustergerät nur sehr selten und in ganz

geringem Maße auftrat – kann jederzeit mit dem Quarz festgestellt und mit C_2 ausgeglichen werden.

Im Interesse vielseitiger Benutzbarkeit wurde die vorhandene Schaltung durch eine nachträgliche geringfügige Erweiterung für die Verwendung als Frequenzmesser großer Genauigkeit für Frequenzen zwischen 100 kHz und 14 MHz (innerhalb der Bereiche I bis V des Meßsenders) ausgebildet. Das Prinzip entspricht dem eben behandelten Quarz-Frequenzvergleich. Die zu messende Frequenz wird der Koax-Buchse „f_x-Eingang" in Bild 15 zugeführt. Diese Buchse ist übrigens in den Fotos nicht sichtbar, da sie beim Mustergerät erst nachträglich eingebaut wurde. Sie fand links neben dem Skalentrieb von C_1 Platz (vgl. Fotos). Über ein Schirmkabel (nur HF-Antennen-Koaxkabel geeignet) gelangt die unbekannte Frequenz zum Gitter 1 der Hexode Rö 4. Der Modulationsgradregler P_1 ist dabei zugedreht (unmoduliert). Der 3-MΩ-Entkopplungswiderstand, der 10-nF-Kondensator und der Gitterwiderstand 1 MΩ müssen direkt beim Sockel der Rö 4 montiert sein. In der Hexode Rö 4 wird die unbekannte Frequenz nun mit der Meßsenderfrequenz gemischt. An der Anode treten daher neben der HF auch die niederfrequenten Überlagerungsschwingungen auf. Diese gelangen wie die HF ebenfalls ans Gitter der Rö 5. P_2 wird jetzt aber auf größte HF-Ausgangsspannung gestellt (geringster Widerstand). Die am Ausgang auftretende HF interessiert nun nicht. Rö 5 wirkt lediglich als Katodenverstärker für die NF-Überlagerungstöne. Da die Katode über 0,1 µF geerdet und damit HF-mäßig „kalt" ist, treten an ihr nur die NF-Schwingungen auf, die über ein Siebglied 20 kΩ/0,1 µF wiederum dem Kopfhöreranschluß zugeführt werden. Der Kopfhörerstecker wird jetzt bei Frequenzmessungen aber nicht ganz, sondern nur halb in die Buchsen eingeführt, so daß Kontakt BK nicht betätigt wird und der Quarz abgeschaltet bleibt. – Bei der Frequenzmessung wird bei angelegter f_x der Meßsender langsam durchgestimmt (in Frage kommenden Bereich durch Versuch ermitteln), und die Überlagerungspfiffe werden beobachtet. Da auch alle Oberwellen beider Frequenzen miteinander interferieren, ist unter allen Pfeifstellen die stärkste herauszusuchen, was mit einiger Sorgfalt geschehen muß, aber leicht gelingt, da diese Pfeifstelle stark ausgeprägt

erscheint. Sie wird genau auf Schwebungsnull gebracht; dann stimmen unbekannte und Meßsender-Frequenz genau überein. Sicherheitshalber ist nun f_x abzutrennen und der Quarz durch vollständiges Einstecken der Kopfhörerstecker einzuschalten. Nunmehr führt man, wie beschrieben, in Nähe der gefundenen Frequenz eine Eichkontrolle und gegebenenfalls Nacheichung mit C_2 durch. Schließlich wird der Quarz wieder abgeschaltet und f_x nochmals genau eingemessen. Der Wert für f_x kann jetzt an der Skala von C_1 abgelesen werden. Die Genauigkeit der Frequenzmessung ist entsprechend dem gewählten Prinzip sehr groß und praktisch nur durch die mechanische Stabilität des Antriebes von C_1 und Skala sowie durch die erreichbare Ablesegenauigkeit an dieser bestimmt. Werte von 10^{-5} sind dabei durchaus erreichbar! Diese Genauigkeit dürfte selbst für die im Amateurfunkbetrieb gestellten hohen Ansprüche bei weitem genügen. Sie ist mit keinem anderen Meßprinzip erreichbar.

Abschließend soll der mechanische Aufbau des Gerätes betrachtet werden. Bild 16 zeigt die Frontansicht des kombinierten Gerätes, das – wie erkennbar – trotz seiner Vielseitigkeit mit relativ wenig Bedienungsorganen auskommt. Die Lage der einzelnen Bedienungsorgane ist aus der Bildunterschrift ersichtlich.

An dieser Stelle einiges zu den verwendeten Antrieben für die Frequenzabstimmungen (C_1 in Bild 15 bzw. R_2 in Bild 13).

Im Mustergerät fanden vorhandene Schneckentriebe aus kommerziellen Beständen Verwendung, die zwar eine sehr genaue Feineinstellung und auf Zehntelmillimeter genaue Ablesung zulassen, andererseits aber sehr kleine Skalenflächen (100 mm Durchmesser) haben. Für die eine Skala des NF-Generators reicht das völlig aus, hier kann als Antrieb z. B. auch eine normale Feintrieb-Übersetzung (Planetengetriebe) oder ähnliche Konstruktion verwendet werden, evtl. auch eine gute Noniusskala ohne besondere Feinübersetzung. Schwieriger ist das bei der HF-Abstimmung. Beim Mustergerät, bei dem der Platz durch das vorhandene Gestell (siehe Bild 1) vorgegeben war, wurde eine neutrale Skala gewählt und für jeden Bereich eine Eichkurve angefertigt. Sofern die Platzverhältnisse nicht vor-

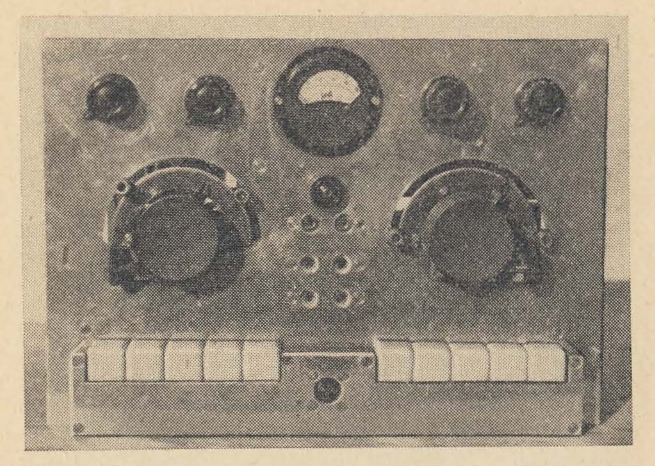


Bild 16. Meßsender/Tongenerator, Frontansicht. Obere Reihe von links nach rechts: C_2 (Eichregler HF), daneben HF-Ausgangsregler P_2, Ausgangsspannungsmesser HF/NF, Modulationsgradregler P_1 mit Mod.-Umschalter (Zugschalter), NF-Ausgangsspannungsregler mit Netzschalter. Unter dem Meßwerk die Netzkontroll-Glimmbirne, darunter v. o. n. u.: Kopfhöreranschluß (Schaltbuchse mit Kontakt BK), Fremd-Mod.-Eingang, NF-Ausgang. Ganz unten zwischen den Tasten die Koax-Buchse des HF-Ausganges. Bild Mitte links: HF-Abstimmung C_1 mit Feintrieb und Skala. Bild Mitte rechts: NF-Abstimmung R_2. Tastensatz links: HF-Bereiche I. . . . V. Tastensatz rechts: v. l. n. r. Instrument-Umschalter t_1/t_2 (Taste gedrückt: NF-Ausgangsspannung, ausgeklinkt: HF-Ausgangsspannung), NF-Bereichstasten a, b, c, Taste „Sinus/Rechteck" (ausgeklinkt: Sinus). Die Koax-Buchse für den f_x-Eingang (Frequenzmessung) fehlt im Bild noch, sie findet zweckmäßig links neben der HF-Abstimmung am Rande Platz und muß rückseitig völlig geschirmt werden

gegeben sind, ist es jedoch am günstigsten, beim Nachbau quer über der Oberkante des Gerätes – das sich damit entsprechend erhöht – eine große Linearskala für den üblichen 270-mm-Zeigerweg anzubringen, die dann in herkömmlicher Form mittels Seilzug angetrieben wird (mit Rücksicht auf die Eichgenauigkeit Stahlseil verwenden). Der ganze Antrieb von C_1 wird dann in konventioneller Form gestaltet, wobei die übrige Geräteanordnung unverändert

bleibt. Damit entfallen die schwer beschaffbaren Schneckentriebe; an der Stelle der jetzigen HF-Abstimmskala befindet sich lediglich noch der Bedienungsknopf für die HF-Abstimmung.
Bild 17 zeigt die Aufsicht von hinten auf das geöffnete Gerät. Rechts im Bild der Netztrafo, vor diesem C_1, darüber rechts oben C_2, links daneben P_2; neben dem Netztrafo links die Gleichrichterröhre und der 150-V-Stabi für den HF-Generator; ganz links außen Rö 1 und Rö 2 des NF-Generators. Die zu diesem Komplex gehörende Rö 3 und der Stabi wurden quer an der linken Zwischenwand montiert, ihre Sockel weisen nach außen. Unter ihnen liegen die Netzteil-Elkos. An der Frontplatte sind das Meßinstrument und links daneben der Mod-Grad-Regler mit Zugschalter, ganz außen links der NF-Ausgangsregler sichtbar. An der hinteren Querwand, die aus Pertinax besteht, sind links die beiden 2-µF-Becherkondensatoren (Koppel-Cs) des NF-Phasenschiebers entsprechend den bereits vorn gegebenen Hinweisen isoliert und frei montiert. An der rechten Querwand

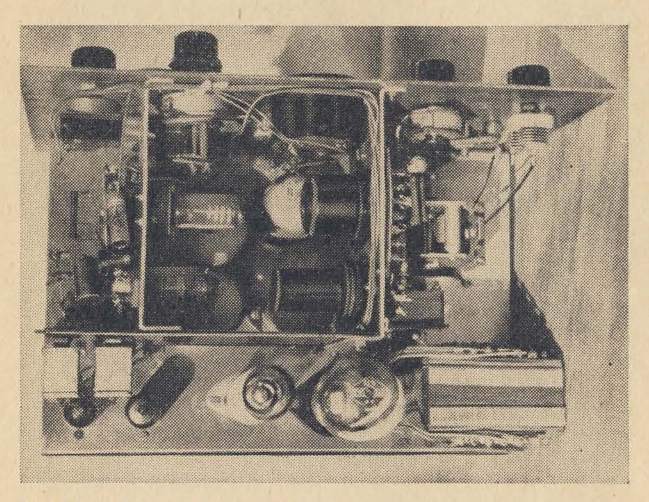


Bild 17. Aufsicht auf das Gerät von hinten

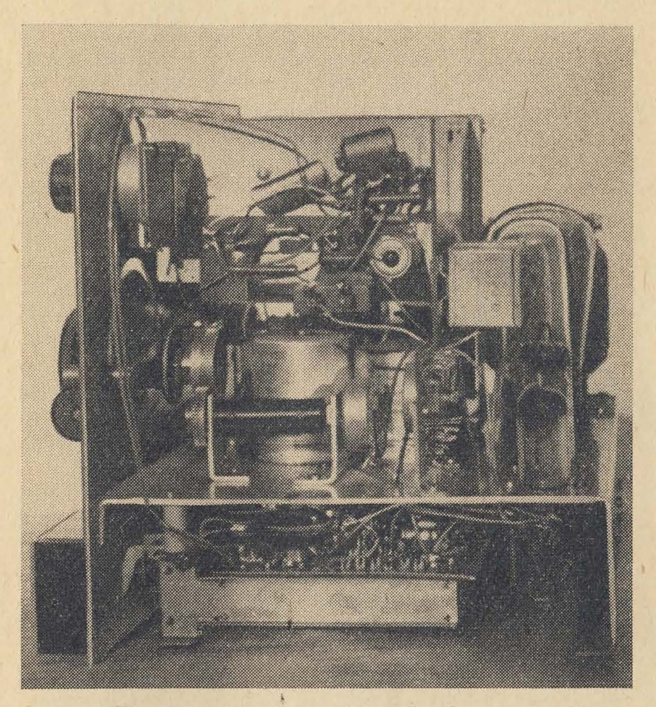


Bild 18. Sicht auf die Tongeneratorseite

– gegenüber Rö 3 und Stabi – ist die Quarzstufe mit Rö 6 und dem Quarz angebracht. Der in einer Stahlröhrenfassung steckende Quarz ist gut erkennbar, unter ihm sitzt Rö 4 auf dem Chassis. Unter Rö 6 ist Rö 5 – ebenfalls auf dem Chassis sitzend – angeordnet. Rö 4 und Rö 5 sind nach Entfernen von Rö 6 und Quarz leicht zugänglich.
Bild 18 zeigt die Sicht auf die rechte (NF-Generator-) Seite. Unter dem Chassis hängend ist der Tastenschalter sichtbar. Zwischen ihm und dem Chassis sitzen die Organe des Phasenschiebers, die vor Einbau des Tastenschalters vorverdrahtet werden. Rechts an der Chassishinterkante Rö 1, da-

hinter Rö 2 (verdeckt), schräg links darüber wieder die 2-µF-Becher. In Chassismitte über dem Tastenschalter sitzt auf einem Winkel der NF-Abstimmregler R_2. Über ein Zwischenachsstück ist er mit einer Zahnradübersetzung verbunden, die von der Frontplattenskala angetrieben wird. Sie kann ohne weiteres durch einen über Kreuz geführten Seilzug ersetzt werden. Damit wird einmal erreicht, daß die am Regler in der linken Endstellung vorhandene höchste Frequenz auf der Skala wie gewohnt rechts erscheint, zum anderen bewirken die verschiedenen Zahnrad- (oder Seilscheiben-) Durchmesser, die Übersetzung des 270°-Reglerdrehwinkels auf den 180°-Drehwinkel der vorhandenen Skala. Hinter R_2 sind die Netzteil-Elkos sichtbar, zwischen Tastenschalter und Chassisplatte der Meßgleichrichter (Graetzgleichrichter) für die NF. Rechts neben R_2 und vor Rö 1 ... 2 befindet sich – in eine senkrecht stehende Lötleiste eingesetzt und von rückwärts zugängig – der Trimmregler R_1.
Bild 19 zeigt die Sicht auf die linke (HF-Generator-) Seite. Links bzw. an Chassishinterkante ist der Netztrafo sichtbar, vor ihm die Netzdrossel, davor in Chassismitte der Drehko C_1, der direkt von der Frontplatten-Feinstellskala angetrieben wird. Unter dem Chassis befindet sich der Bereichs-Tastenschalter; über Netzdrossel und Drehko die Verdrahtung der Quarzstufe an der senkrechten Zwischenwand. Der Paralleltrimmer des Quarzes ist direkt über der Netzdrossel zu sehen. Über dem Drehko sitzt die Spule des Anodenkreises des Quarzoszillators. An der Frontplatte oben sind Eich-Drehko C_2 und dahinter (verdeckt) P_2 zu erkennen.
Wie die Chassis-Unteransicht des hochgestellten Gerätes (Bild 20) zeigt, lassen die Tastenaggregate wenig Platz für die Verdrahtung. Netzteil und Tastenaggregate müssen daher vor Einbau weitgehend vorverdrahtet werden. Im Störungsfall sind sie mit wenigen Schrauben leicht herauslösbar. Links unten ist die Verdrahtung um Rö 1 und Rö 2 – soweit nicht auf dem Tastensatz befindlich – sichtbar; zwischen den Tastensätzen die Verdrahtung des HF-Oszillators Rö 4 (die Seitenwände der Tastensätze bilden dabei natürliche Abschirmwände) und zur Frontplatte hin der Aus-

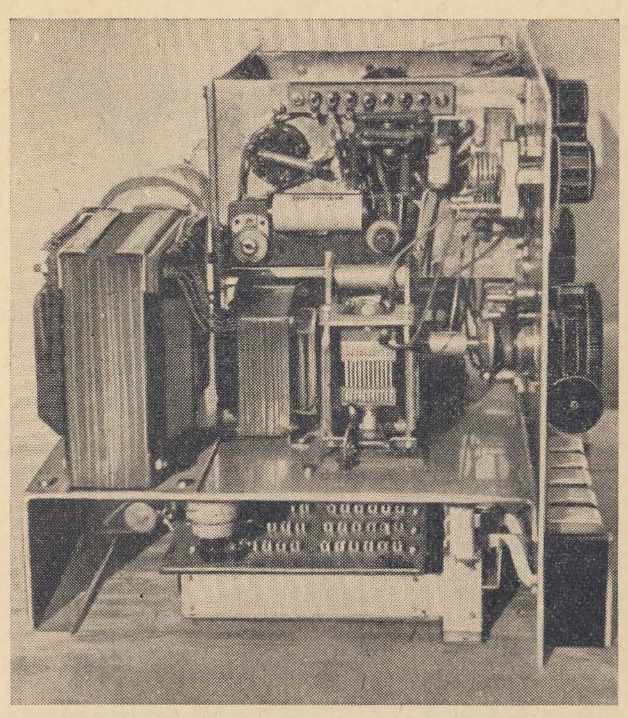


Bild 19. Sicht auf die HF-Generatorseite

gangskomplex um Rö 5. Deren Sockelabschirmblech – in der bei den geschlitzten Sockeln der 11er-Röhrenserie üblichen Art bis zwischen die Stifte ragend – bildet hier die hintere Wand der in Bild 15 angedeuteten Ausgangsabschirmkammer. Der Anodenanschluß des Sockels liegt in Richtung zur Frontplatte, von wo auch die Koax-Ausgangsbuchse einmündet. Die seitlichen Abschirmwände und die Bodenabschirmung dieser Kammer werden durch ein im Foto entferntes Winkelblech gebildet, das diesen Komplex dicht abkapselt. Wie erkennbar, ist hier eine extrem kurze, keinen Schaltdraht benötigende Verdrahtung realisierbar.

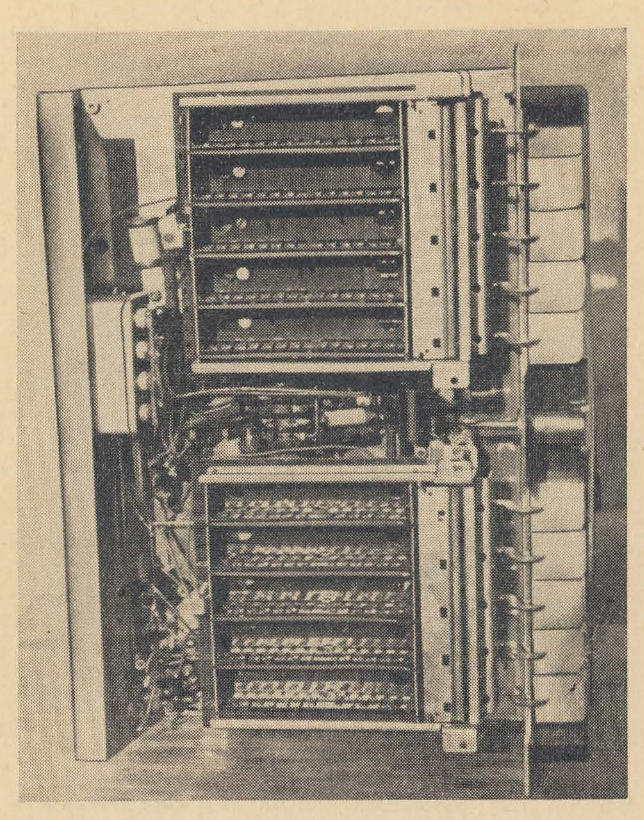


Bild 20. Unteransicht des Gerätes

Die Fotos lassen auch die Art der Tastendurchführung („Klavier-Tastatur", auf Hartgummiklötzen vorgesetzte Blechverkleidung, die auch die HF-Ausgangs-Koaxbuchse trägt) erkennen. Es können natürlich ebensogut die neueren Miniatur-Tastenschalterausführungen von Neumann, die axial einzudrücken sind, verwendet werden. Dann vereinfacht sich der mechanische Aufbau noch. Durch die in diesem

Fall tiefer eintauchende Koaxbuchse müssen Rö 4 und Rö 5 dann etwas nach hinten versetzt werden.
Die gewählte Anordnung der Einzelteile sollte annähernd beibehalten werden, da sich so für alle „heißen" und kritischen Leitungen die günstigsten und kürzesten Leitungsführungen ergeben.
Obwohl das Gerät auf verhältnismäßig engem Raum (eine wesentliche Vergrößerung beim Nachbau ist wegen der dann größer werdenden Leitungslängen nicht einmal günstig!) aufgebaut ist und eine relativ umfangreiche Schaltung aufweist, können beim sorgfältigen Nachbau kaum Schwierigkeiten auftreten, wenn die elementarsten Regeln für den Bau derartiger Geräte beachtet werden. Auf lückenlose Abschirmung des fertigen Gerätes im Betrieb wurde bereits hingewiesen. Sollte über die Netzzuführung noch HF auswandern, so muß direkt am Eintrittsort des Netzkabels in das Gerät ein übliches HF-Störschutzfilter (HF-Drosseln) angeordnet werden. Der nötige Platz ist vorhanden (in Bild 20 oben links, direkt unter dem Netztrafo). Für die Netzzuführung wurde dieses Gerät wie auch alle anderen beschriebenen nicht mit Messerkontaktleisten für den Gestelleinschub, sondern mit normalem Netzkabel ausgestattet, um es an beliebigem Ort selbständig benutzen zu können. Im Betrieb ist das Gerät natürlich zu erden.
Abschließend sei noch daran erinnert, daß natürlich der beste Meßsender und Tongenerator wertlos ist, wenn er nach irgendwelchen Behelfsmethoden geeicht wird. Vor Baubeginn sollte man daher klären, ob und wo die für die Ersteichung nötigen Vergleichsgeräte leihweise zur Verfügung stehen.

HOCHWERTIGER ELEKTRONENSTRAHL-OSZILLOGRAPH

Der Oszillograph ist bekanntlich das vielseitigste Meßgerät. Erprobung und Einstellung umfangreicherer Geräte oder von Versuchsschaltungen können ohne ihn oftmals gar nicht, sonst nur auf umständliche Weise durchgeführt werden. Seine zahllosen Vorzüge sind hinreichend bekannt, und die Feststellung, daß das Kernstück eines guten Meßplatzes der

Oszillograph darstellt, ist keineswegs übertrieben. Der knappe Rahmen dieses Heftchens läßt es nicht zu, auf das umfangreiche Gebiet der Oszillographen-Meßtechnik näher einzugehen, einige der wichtigsten Meßverfahren werden später noch kurz gestreift.

Der Aufwand des hier beschriebenen Gerätes (einschließlich Bildröhre 10 Röhren) erscheint zunächst recht hoch, es ist aber zu bedenken, daß ohne ein gewisses Mindestmaß an Aufwand – der hier nicht weiter getrieben wurde, als für den Amateur sinnvoll – kein brauchbares Ergebnis zu erwarten ist. Kompromißlösungen hinsichtlich weiterer Schaltungsvereinfachungen lassen bereits die Frage auftreten, ob angesichts des Ergebnisses der Bau eines Oszillographen überhaupt noch gerechtfertigt ist. Es muß jedoch auch festgestellt werden, daß der Bau eines Oszillographen bereits gewisse Kenntnisse und Fähigkeiten voraussetzt und daher nur dem fortgeschritteneren Amateur anzuraten ist.

Das beschriebene Gerät benutzt als Bildröhre die Type B 10 S 1. Zu erwähnen ist, daß die hier gegebene Baubeschreibung hinsichtlich der Aufbauzeichnungen vom Mustergerät (Bild 1) abweicht und daher keine Fotos des Mustergerätes gezeigt werden. Der Grund hierfür ist, daß das Mustergerät wegen des vorgegebenen Platzes äußerst gedrängt aufgebaut werden mußte und sich daher in der Einzelteile-Anordnung nicht überall die günstigste Lösung ergab. Um daher den Nachbau nicht unnötig zu komplizieren und jedem vermeidbaren Risiko auszuweichen, werden hier Aufbauskizzen gegeben, die zu der elektrisch und mechanisch günstigsten Konstruktion führen, allerdings ein bedeutend größeres Gehäusevolumen als beim Mustergerät ergeben. Der Nachbau wird dadurch relativ unkritisch. Von unnötiger Verkleinerung des Gerätes oder wesentlichen Abweichungen von der gezeigten Anordnung wird abgeraten.

Durch weitestgehende Benutzung von Doppelsystemröhren und Verzicht auf aufwendige Zusatzeinrichtungen bleibt der Aufwand in tragbaren Grenzen, ohne die Leistungsfähigkeit zu mindern. Der Meßverstärker-Eingang (Y-Eingang) ist hochohmig (etwa 20 MΩ/15 pF) und benötigt für ein gut auswertbares Bild nur 5 mV_{ss}. Bereits mit etwa 100 mV_{ss} wird der Bildschirm voll ausgeschrieben. Der Frequenzgang

ist bei sorgfältigem Aufbau von 5 Hz bis 3 MHz linear, so daß sowohl Untersuchungen relativ langperiodischer Vorgänge (50-Hz-Rechteckmessungen an NF-Verstärkern u. ä.) als auch Fernseh-Videomessungen, Impulsuntersuchungen usw. mit für die Praxis weit zureichender Genauigkeit möglich sind. Der Dachabfall für 50 Hz liegt bei 2 Prozent, die Frequenzgangkorrektur für hohe Frequenzen ist so dimensioniert, daß auch bei Impulsen mit steiler Flanke noch keine Einschwingerscheinungen auftreten. Die maximale Y-Eingangsspannung beträgt 5 V_{eff}, auf einen umschaltbaren Eingangsspannungsteiler wurde im Interesse unkritischeren Aufbaues verzichtet. Hierfür werden zwei Vorsteck-Spannungsteiler benutzt (1 : 10 und 1 : 100), so daß Spannungen bis 500 V und darüber meßbar sind. Für die quantitative Auswertung (Spannungsmessung des Oszillogramms bzw. der Meßspannung) wurde eine Umschaltmöglichkeit auf eine Eichspannung vorgesehen, deren Bild mit dem zu untersuchenden Oszillogramm oder interessierender Punkte daraus auf gleiche Höhe gebracht werden kann und am Eichspannungsregler den Betrag der betreffenden Meßspannung abzulesen gestattet.
Bild 21 zeigt die Schaltung der Verstärkerteile und des Zeitablenkgenerators, Bild 22 die Schaltung der Stromversorgung und Bildröhre. Für die Zeitablenkung wird hier die für den Selbstbau günstige, reichlich dimensionierte Transitron-Miller-Schaltung benutzt. Für besondere Messungen (Frequenz- und Phasenmessungen, Modulationsgradmessungen usw.) kann die Ablenkspannung abgeschaltet und über den X-Verstärker von außen eine zweite Meßspannung beliebiger Art angelegt werden. Die Werte des hierfür vorgesehenen X-Einganges liegen bei 1 MΩ/20 pF, Spannungsbedarf min. 5 mV_{ss}, max. 0,2 V_{eff} bzw. mit Vorsteckspannungsteiler entsprechend höher. Der Frequenzgang des X-Verstärkers – an den in der Praxis keine allzuhohen Anforderungen gestellt werden – reicht mit 25 Hz ... 250 kHz ± 2 dB für alle vorkommenden Fälle aus. Die X-Verstärkung ist ebenfalls regelbar (entsprechend die Zeitablenkung), womit das Oszillogramm bedeutend über die Bildränder hinaus gedehnt werden kann, was im Verein mit der Bildmitten-Verschiebung einer echten „Lupen-

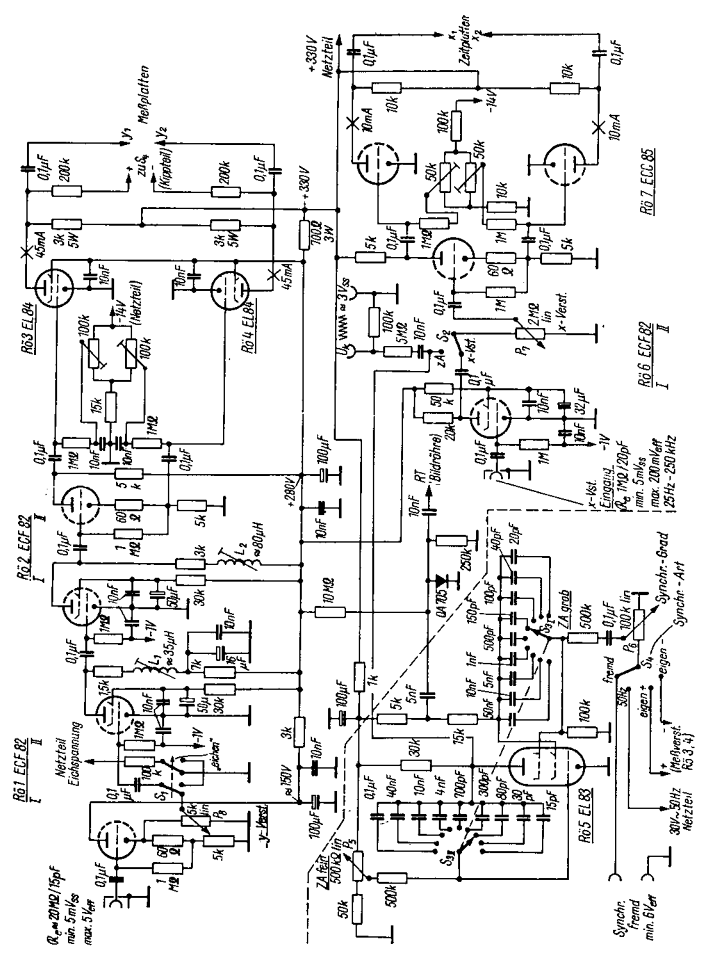


Bild 21. Oszillograf. Schaltung der Verstärker- und Kippteil-Einheiten

wirkung" gleichkommt und eine Auswertung auch einzelner Oszillogrammteile ermöglicht. Die Kippspannung ist über einen besonderen Anschluß mit etwa 3 V_{ss} entnehmbar, womit z. B. ein Wobbler gesteuert werden kann, um Durchlaßkurven nach dem Wobbelverfahren aufzunehmen.

Den Kippteil kann man wie üblich auf verschiedene Art synchronisieren (50-Hz-Netz-, Eigen-, Fremdsynchronisation), wobei die Eigensynchronisation umschaltbar auf positive und negative Impulse ist. Das wirkt sich besonders günstig bei unsymmetrischen Oszillogrammen aus (z. B. Bildsynchron-Impuls an Fernsehgeräten ö. ä.), die je nach Meßpunkt mit verschiedener Polarität auftreten können. Es ist damit bereits bei Oszillogrammhöhen von wenigen Millimetern ein stehendes Bild erreichbar. Die Zeitablenkfrequenz ist von etwa 5 Hz ... 150 kHz frei wählbar. Der Strahlrücklauf wird dunkelgetastet. Ein Anschluß für Hellsteuerung (Hellmarken, 3. Meßgröße) ist vorhanden.

Der Meßverstärker (Bild 21) wurde mit je 2 Röhren ECF 82 und EL 84 bestückt (Rö 1 ... 4). Sein Eingang ist als Anodenbasisstufe geschaltet. Damit wird einmal die wirksame Eingangsimpedanz auf den vorgenannten Wert erhöht und eine merkliche Belastung des Meßobjektes, die das Oszillogramm verfälschen würde, vermieden. Zum anderen wird damit eine relativ niederohmige und frequenzunabhängige Regelmöglichkeit für die Eingangsspannung geschaffen, die hier mit P_8 erfolgt. Über Schalter S_1 kann anstelle der Meßspannung wahlweise eine vom Netzteil (Bild 22) kommende Vergleichsspannung (Eichspannung) abgebildet werden. Sie ist im Normalfall kurzgeschlossen, um Einstreuung über die Kontaktkapazitäten von S_1 zu verhindern. Rö 1_{II} bildet die erste Verstärkerstufe. Hier wie auch an anderen Stellen wird die Katode direkt an Masse gelegt und der Röhre eine feste Gittervorspannung aus dem Netzteil zugeführt. Damit entfallen die Katodenkombinationen, deren Elkos sonst im Hinblick auf den Frequenzgang mit über 1000 µF bemessen sein müßten! Auch die Schirmgitterkondensatoren sind aus ähnlichen Gründen mit je 50 µF (Elkos) berechnet, denen zur sicheren HF-Ableitung noch 10-nF-Kondensatoren parallelliegen, ebenso die Siebkondensatoren der Anodenspannung mit jeweils 100 µF

(zweimal 50 μF parallel, evtl. Doppelelkos). Diese Werte stellen bereits Mindestwerte dar. Im übrigen sei hier ausdrücklich betont, daß alle Wertangaben genauestens eingehalten werden sollten. Abweichungen in einzelnen, scheinbar nebensächlichen Dimensionierungen können zu Rückwirkungen auf andere Organe und damit zu Verfälschungen des Oszillogramms führen und sind daher unbedingt zu vermeiden. Es ist im Rahmen dieser Broschüre nicht möglich, auf alle Einzelheiten der Schaltungsdimensionierung einzugehen und die Begründung hierfür zu geben.

L_1 im Anodenkreis von Rö 1_{II} sowie L_2 in der Anodenleitung von Rö 2_I sind Korrekturdrosseln für die obere Frequenzgrenze, während der Widerstand 7 kΩ mit Elko 16 μF/10 nF in der Anodenleitung der Rö 1_{II} nicht – wie auf den ersten Blick zu vermuten – eine Anodensiebung, sondern zusammen mit dem 1,5-kΩ-Anodenarbeitswiderstand dieser Stufe ein Korrekturglied für die untere Frequenzgrenze bildet, ohne, daß die Koppelkondensatoren aller Stufen anstelle mit 0,1 μF mit 1 μF bemessen sein müßten. Das wiederum stößt wegen der dann zu langen Zeitkonstanten der Koppelglieder und der erhöhten Streukapazitäten im Hinblick auf die obere Frequenzgrenze auf Schwierigkeiten. Der „krumme" Widerstandswert von 7 kΩ darf daher nicht geändert werden. Soviel als Beispiel zu der an sich sehr interessanten Problematik von Breitbandverstärkern. Die Korrekturdrosseln stellen sogen. Resonanzentzerrungen dar. Sie bilden im Verein mit Verdrahtungs- und Röhrenkapazitäten Schwingkreise, die durch die Anodenwiderstände bedämpft sind. Bei richtiger Bemessung ist damit ein ausgeglichener Frequenz- und Phasengang bis reichlich 3 MHz erreichbar. L_1 und L_2 werden mit CuL-Draht (Durchmesser etwa 0,2 mm) auf Stiefelspulenkörper mit HF-Eisenkern gewickelt. Die Windungszahlen sind je nach Kernfaktor in üblicher Weise etwa zu errechnen. Genaue Rechnung ist sinnlos, da die endgültigen Werte stark von der Verdrahtungskapazität abhängen und ausprobiert werden müssen. Als Anhaltswerte können für die Induktivitäten etwa 35 μH (L_1) und 80 μH (L_2) genannt werden, wobei eine Verdrahtungs-Streukapazität von etwa 25 pF je Stufe angenommen ist. Die Spulen werden ohne Abschirmung frei montiert. Voraus-

setzung ist eine sehr kurze, gerade, kapazitätsarme Verdrahtung des gesamten Meßverstärkers etwa im Stile eines UKW-Empfängers. – Rö II arbeitet in Katodenschaltung als Symmetrierstufe. Diese – wegen der symmetrischen Ablenkung B 10 S 1 nötige – Schaltung hat den Vorzug besten Frequenz- und Phasenverhaltens und der Unabhängigkeit von späteren Röhrenalterungen. Die Anoden- und Katodenwiderstände (5 kΩ) sollen einander wertgleich sein. Die Endstufe arbeitet im Gegentakt. Die an sich denkbare unsymmetrische Betriebsweise der B 10 S 1 würde zwar 2 Röhren sparen, aber zu untragbaren Trapezverzerrungen im Bild führen. Die Bildröhre benötigt bei der hier vorgesehenen tabellenmäßigen Anodenspannung von 2 kV eine Ablenkspannung von etwa 500 $V_{max.}$, so daß jede Endröhre etwa 250 V Ausgangswechselspannung aufbringen muß. Obwohl die Strahlablenkung statisch und daher fast leistungslos erfolgt, ist diese Spannung – da auch die Anodenspannung der Endröhren nicht beliebig hoch wählbar ist – nur durch entsprechende Anodenstromänderungen, d. h. kräftige Endröhren erzielbar, zumal auch die Anodenwiderstände von Rö 3 und Rö 4 im Hinblick auf die erforderliche Breitbandigkeit nicht höher als angegeben gewählt werden können. Die Katoden liegen wieder an Masse, mit den 100-kΩ-Gittervorspannungsreglern werden die Anodenströme beider Endröhren auf je 45 mA eingestellt. Die Regler sind an geeigneter Stelle dicht bei den Röhren unterhalb des Chassis (für Schraubenziehereinstellung) angeordnet. Von den Anoden der Rö 3 und Rö 4 zweigen die Leitungen zur Bildröhre sowie die Synchronisationsleitungen ab.

Die Funktion der Kippschaltung (Rö 5, EL 83) ist in der einschlägigen Literatur schon oft beschrieben worden. Diese Schaltung gibt einen gut linearen Sägezahn ab, dessen Anstiegsdauer (Strahlhinlauf) von dem an der Anode von Rö 5 liegenden, jeweils mit Schalter $S_{3.II}$ (Kippfrequenz grob) ausgewählten Kondensator bzw. dessen Umladung abhängt. Diese Umladungsdauer ist mit Regler P_5 (Kippfrequenz fein bzw. Zeitablenkung fein) in gewissen Grenzen beeinflußbar. Die Dauer des Strahlrücklaufes – im wesentlichen von den mit $S_{3.I}$ eingeschalteten Kondensatoren abhängig – beträgt bei niedrigen Kippfrequenzen bis zu einigen kHz nur

wenige Prozent des Hinlaufs, steigt mit zunehmender Kippfrequenz an und erreicht bei den höchsten Kippfrequenzen maximal 20 . . . 25 Prozent der Hinlaufdauer. Diese Verhältnisse sind stark vom Aufbau (kurze, kapazitätsarme Verdrahtung) abhängig. Da die Kondensatoren an S_3 in den oberen Kippfrequenzstufen schon sehr klein werden, macht sich die Verdrahtungskapazität bereits störend bemerkbar. Diese Kondensatoren müssen daher ganz kurz unmittelbar an den Schaltebenen des Stufenschalters angelötet werden, wobei jedoch beide Schaltebenen gegeneinander geschirmt sein müssen und die Kondensatoren beider Gruppen sich gegenseitig nicht „sehen" dürfen. Das wird durch geschickte Anordnung der Teile leicht erreicht. Die Kippfrequenzbereiche überlappen sich gegenseitig, wobei S_3 und P_5 eine stufenlose Frequenzwahl im Bereich 5 Hz . . . 150 kHz ermöglichen. Die Schaltung ist über das Bremsgitter der Rö 5 leicht synchronisierbar. Mit S_4 ist dabei die Synchronart und mit P_6 je nach vorhandener Synchronspannung der Synchrongrad (Mitnahmezwang) einstellbar. P_6 wird so eingestellt, daß das Bild gerade zum Stehen kommt. Der zur Dunkelsteuerung des Strahlrücklaufs erforderliche negative Impuls wird über den Spannungsteiler 15/5 kΩ und 5 nF vom Schirmgitter der Rö 5 entnommen und dem Wehneltzylinder der Bildröhre (Leitung RT, vgl. Bild 22) zugeführt. Die leicht positiv vorgespannte Begrenzerdiode OA 705 sorgt dabei für gleichmäßige Helligkeit des Strahlhinlaufes.
Die Kippspannung wird an der Anode der Rö 5 entnommen und steht einmal am Buchsenanschluß U_K für äußere Zwecke (Wobbler u. ä.) zur Verfügung, zum anderen wird sie über Schalter S_2 und X-Verstärkungs-Regler P_7 dem relativ einfach aufgebauten X-Verstärker (Rö 6, Rö 7) zugeführt, der im Prinzip dem Y-Verstärker entspricht. Wegen der bereits genannten geringeren Anforderungen an den X-Verstärker war hier eine günstigere, vereinfachte Dimensionierung möglich. Über S_2 kann der X-Verstärker auch über die X-Eingangsbuchse mit einer beliebigen zweiten Meßspannung beaufschlagt werden, wobei Rö 6_I als Vorverstärker wirkt. Wegen der gemachten Vereinfachungen ergibt sich dabei lediglich der Nachteil, daß hier die Verstärkungsregelung erst nach der ersten Stufe erfolgt, so daß der

X-Eingang relativ leicht übersteuert werden kann. Der für diesen Eingang genannte maximale Spannungswert darf daher nicht überschritten werden, wozu eingangs bereits Näheres gesagt ist.

Die Anodenströme der X-Endstufe Rö 7 werden, wie bereits beim Y-Verstärker beschrieben, auf gleichen Wert (je 10 mA) eingeregelt.

Bild 22 zeigt die Schaltung des Bildröhrenkomplexes und der Stromversorgung. Der Netztrafo muß nach den am Schluß dieser Baubeschreibung gegebenen Daten (s. S. 74) speziell gewickelt werden. Da hierzu einige Übung und beträchtliche Sorgfalt nötig sind, wird es im allgemeinen zweckmäßig sein, diese Arbeit einer speziellen Firma (Trafo-Wickelei) zu übertragen, wenn der Amateur nicht über die nötigen praktischen Kenntnisse und Einrichtungen (Wickelbank) verfügt. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei dem Isolationsproblem der einzelnen Wicklungen zu schenken. Das gilt besonders für Wicklung II, die auf Hochspannungspotential liegt, da bei der B 10 S 1 Katode und Heizung verbunden sind. Der Netzeingang ist mit einem üblichen HF-Störschutzfilter direkt am Geräteeingang gegen Ausstrahlungen der Oberwellen des Kippgenerators gesichert, die sonst zu starken Rundfunkstörungen der Nachbarschaft führen können. Aus dem gleichen Grunde und um ein Eindringen der Kippfrequenz und ihrer Oberwellen in die Meßverstärker zu verhindern, ist der gesamte Kippteil innerhalb des Oszillographen – wie in Bild 21 durch die gestrichelte Linie angedeutet und später noch gezeigt wird – in einem Abschirmkäfig untergebracht. Die Anodenspannung für die Verstärker und das Kippgerät werden in üblicher Weise erzeugt (Trafo-Wicklungen Va, b, Rö 9). Die Siebdrossel Dr 1 ist durch Parallelschaltung des Kondensators 0,25 µF als Resonanzkreis für 100 Hz ausgebildet, da sonst der hier nötige, sehr hohe Siebfaktor nicht erreichbar ist. Die Drossel Dr 1 wird nach folgenden Angaben gewickelt: Kern M 85/32 (Ktr 5), 9,2 cm^2 Fe, Luftspalt 1 mm, 2400 Wdg. 0,25 CuL.

Die Heizung der brummempfindlichsten Röhren erfolgt aus Wicklung IX des Netztrafos, die deshalb in üblicher Weise auf Brumm-Minimum (bei evtl. Welligkeit der Nullinie)

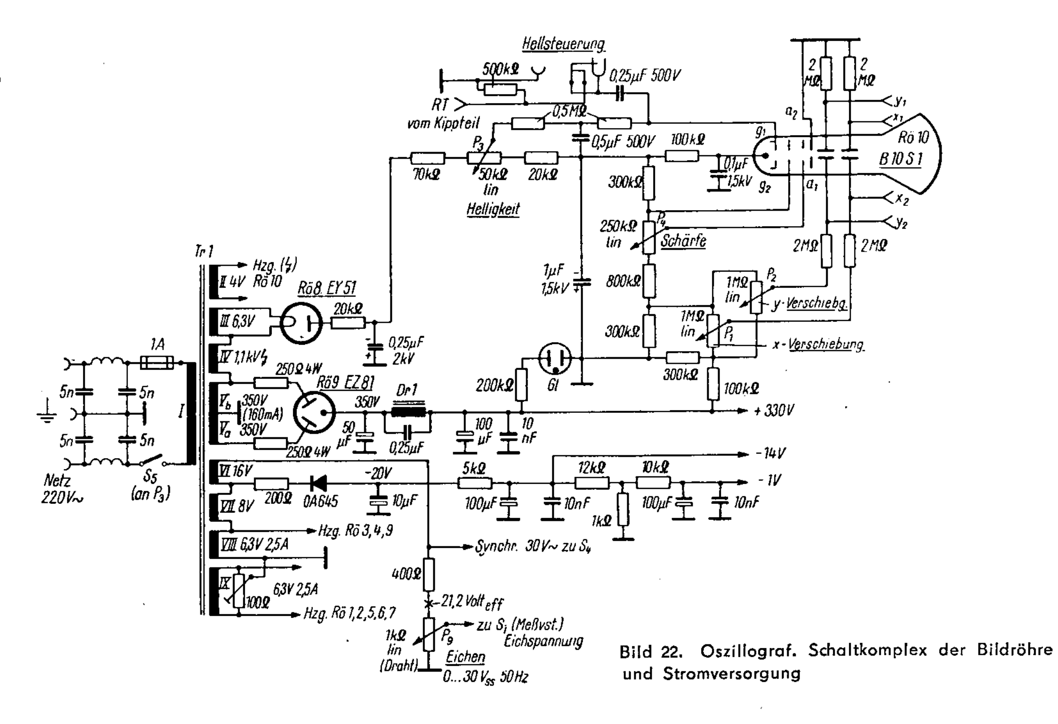


Bild 22. Oszillograf. Schaltkomplex der Bildröhre und Stromversorgung

symmetriert werden kann (100-Ω-Potentiometer). Die übrigen Röhren werden aus der einpolig geerdeten Wicklung VIII geheizt. In Reihe mit dieser (um Wickelraum zu sparen!) liegt VII, von der über eine kleine Germaniumdiode OA 645 eine Gleichspannung von – 20 V bereitgestellt wird, die nach Siebung für die Gittervorspannungen der Röhren Verwendung findet. Die im Netzteil den Elkos parallelliegenden 10-nF-Kondensatoren dienen wiederum dem besseren HF-Kurzschluß. Der von der – 1-V-Leitung gegen Masse liegende 10-nF-Kondensator (direkt am Elko 100 µF angelötet) wiederholt sich dabei an der gleichen Leitung in jeder Stufe (Bild 21), was also nicht etwa ein Zeichenfehler ist, sondern der räumlichen Lage im Gerät entspricht und zur HF-Entkopplung notwendig ist. Bei Wicklung VI stehen 30 V ~ gegen Masse zur Verfügung, die einmal für die 50-Hz-Synchronisation des Kippteils (über S_4) benutzt werden, zum anderen die Eichspannung (Vergleichsspannung) für den Y-Meßverstärker bilden. Für den Eichspannungsregler P_9 wird ein hochwertiges lineares Drahtpotentiometer benutzt, dessen 400-Ω-Vorwiderstand bei genau 220 V ~ Netzspannung so abzugleichen ist, daß am oberen Ende von P_9 präzis 21,2 Volt stehen (Effektivwert, mit RVM oder Multizet o. ä. gemessen). P_9 kann dann direkt in 0 . . . 30 V_{SS} (Spitzenspannung des Oszillogramms, nicht mit Effektivwert zu verwechseln!) geeicht werden. Beim Ausmessen eines Oszillogramms bildet man dann mit S_1 (Bild 21) die von P_9 kommende Vergleichsspannung ab und stellt diese mittels P_9 auf völlig gleiche Höhe mit dem Oszillogramm der Meßspannung ein. An der geeichten Skala von P_9 kann dann der Betrag der Meßspannung in V_{SS} direkt abgelesen werden. Zu beachten ist jedoch bei dieser Messung, daß der Y-Eingangsregler P_8 voll aufgedreht sein muß!

Die Hochspannung für die Bildröhre wird mit Rö 8 (EY 51) erzeugt, der Strombedarf beträgt nur etwa 2 mA. Wie allgemein üblich, liegt die Bildröhrenanode an Masse, die Hochspannung ist also negativ gegen Masse, wie aus der Polung von Rö 8 ersichtlich. Die erzielte Gleichspannung beträgt dabei 2 kV. Die Hochspannungswicklung IV kann wiederum durch Mitbenutzung der Wicklung Vb bedeutend

kleiner gehalten werden. Falls für den Ladekondensator 0,25 µF/2 kV kein Hochspannungskondensator greifbar ist, können hier vier in Serie gelegte 1-µF/500-V-Kondensatoren (MP-Becher, keine Elkos) verwendet werden, deren jeder dann mit einem 2-MΩ-Parallelwiderstand zwecks gleichmäßiger Spannungsaufteilung versehen werden muß.
P_3 ist der Helligkeitsregler; über ihn erhält der Wehneltzylinder (g_1 der Bildröhre Rö 10) eine regelbare negative Vorspannung. P_4 regelt die Schärfe des Leuchtpunktes (Fokussierung). Den Ablenkplatten $X_{1\text{-}2}$, $Y_{1\text{-}2}$ werden von den Meßverstärkern die Ablenkwechselspannungen zugeführt. Gleichzeitig erhalten diese Elektroden über ihre Regler P_1 und P_2 Gleichspannungen, mit denen die Nullage des Strahles und damit das ganze Oszillogramm in beiden Richtungen bis an die Bildränder verschoben werden kann. Die Regler P_1 und P_2 liegen zu diesem Zweck zwischen einem Punkt des Hochspannungs-Widerstandsnetzwerks mit einem Potential von etwa −300 V, und dem Punkt +330 V Anodenspannung. Etwa in Mittelstellung der Regler P_1, P_2 ist also das Plattenpotential = 0, was der normalen Nullage (Bildmitte) entspricht. Der 1-µF-Siebkondensator der Hochspannung (1,5 kV) kann ein normaler Tonband-Motorkondensator „1 µF, 600 V ~" sein, da hier nur reine Gleichspannung anliegt.
Dem Gitter 1 der Bildröhre wird über die Rücklaufaustastleitung RT (vom Kippteil Bild 21) der Austastimpuls über die Schaltkontaktbuchse „Hellsteuerung" zugeführt. Für Hellsteuerzwecke (Einblenden von Frequenz- oder Zeitmarken) kann durch Einführen des Steckers die RT-Leitung abgetrennt und der Strahl über diesen Anschluß helligkeitsmoduliert werden.
Für die Bemessung aller Einzelteile gelten die üblichen Gesichtspunkte, wie sie aus der einschlägigen Verstärkertechnik bekannt sind. Vom Üblichen abweichende Dimensionierungen, Belastungen usw. sind im Schaltbild angegeben. Für alle Kondensatoren sollen nur verlustarme Ausführungen Verwendung finden.
Bild 23 zeigt den prinzipiellen Aufbau der bereits erwähnten Vorsteck-Spannungsteiler. Sie sind mechanisch ähnlich wie der früher beschriebene Tastkopf zum Röhrenvoltmeter auf-

gebaut, können aber entsprechend kleiner gehalten werden. Das Anschlußkabel wird in der angegebenen Länge beibehalten und fest montiert, da seine Kapazität in die Frequenzkompensation der Spannungsteiler eingeht. Es werden zwei gleiche Teiler-Tastköpfe gefertigt. Die Werte für R_1 und C_1 betragen beide Male je 1 MΩ bzw. 2 pF. Für das Teilerverhältnis 10 : 1 wird dann R_2 = 100 kΩ, C_2 = 5 pF; für den 1 : 100-Teiler R_2 = 10 kΩ, C_2 = 180 pF.

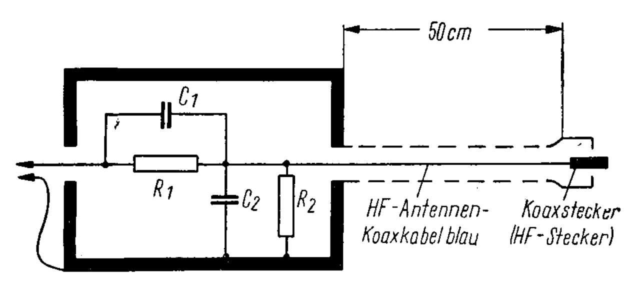


Bild 23. Vorsteck-Spannungsteiler für die Oszillografeneingänge, Schaltung. Werte der Einzelteile siehe im Text

Bild 24 läßt die vorteilhafteste Anordnung der Bedienungsorgane auf der Frontplatte erkennen. Gleichzeitig sind dort die günstigsten Außenmaße angegeben, die beim Nachbau ungefähr eingehalten werden sollen. Das dahinterliegende Chassis ist etwa 60 mm hoch, die unter Chassishöhe liegende Frontplattenfläche bildet das Anschlußfeld. Ein Vergleich mit der Schaltung zeigt die Lage der einzelnen Organe und zeigt bereits annähernd die Aufteilung der Baugruppen im Innern des Gerätes. Die Bildröhre kann nach Abnehmen des vorderen Halteringes in Bild 24 nach vorn herausgezogen werden. Der Haltering preßt gleichzeitig ein – nicht gezeichnetes – Blatt transparentes Millimeterpapier (notfalls normales Millimeterpapier in einer Benzin-Wachs-Lösung tränken!) gegen den Bildschirm. Durch dieses hindurch ist das Oszillogramm erkennbar. Die Millimetereinteilung ermöglicht besonders bei Benutzung der Eichspannung eine sehr genaue Auswertung der Beobachtung auch kleinster Oszillogramm-Einzelheiten.

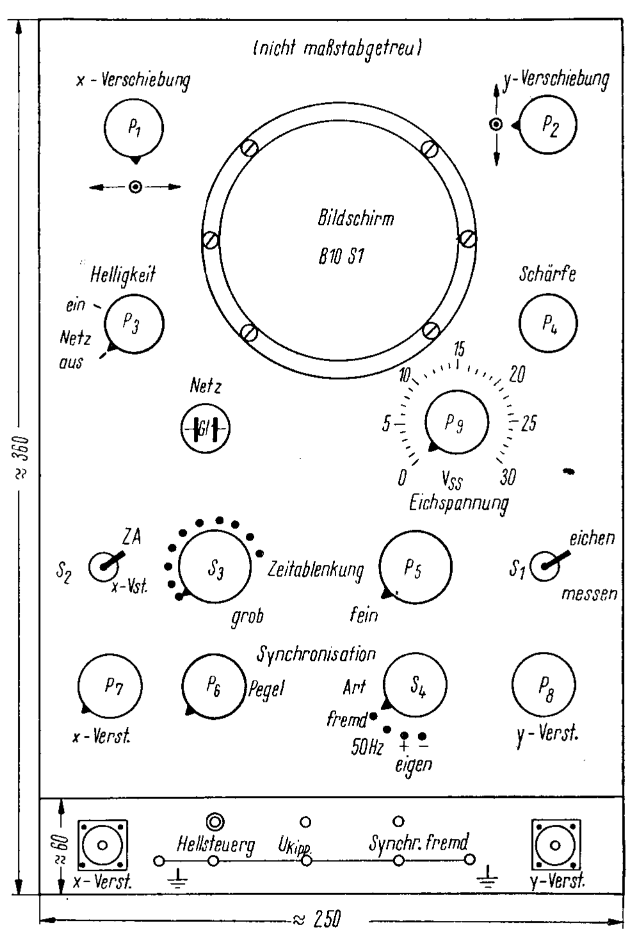


Bild 24. Frontplattenaufteilung (günstigste Lösung) für den Oszillografen

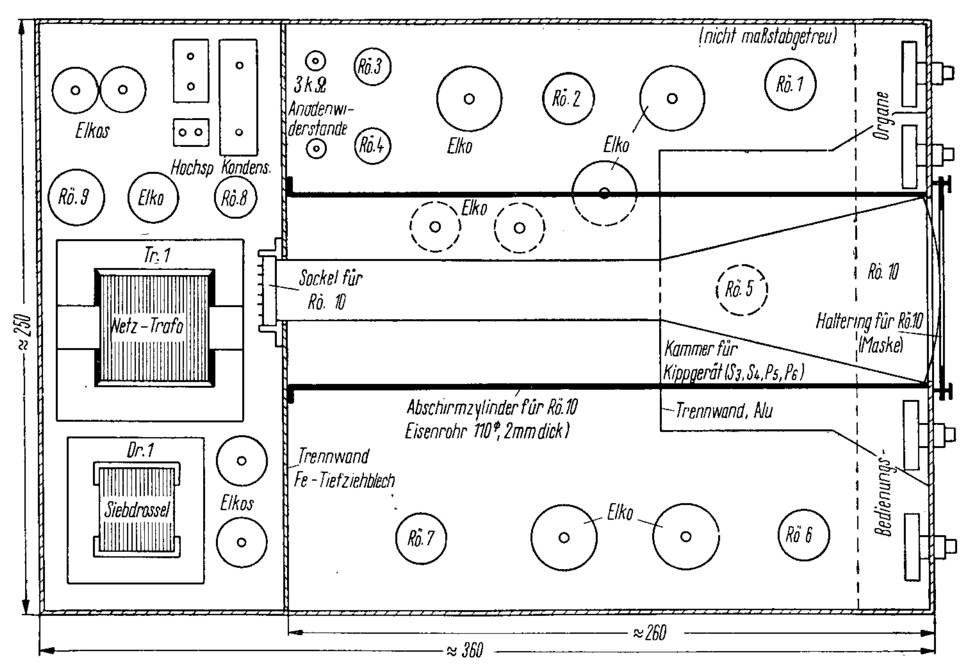


Bild 25. Chassis-Aufsichtskizze, Anordnung der Einzelteile des Oszillografen

Bild 25 zeigt die Aufsicht auf das Chassis. Wie wiederum aus den Einzelteilbezeichnungen erkennbar, ziehen sich beide Meßverstärker – in Bild 25 oben der Y-Verstärker, unten der X-Verstärker, vgl. mit Bild 24 – längs der Geräteseitenwand hin, vorn bei der Frontplatte mit den Eingangsteilen beginnend. Hinten quer (bzw. in Bild 25 links) sitzt der Netzteil. In Chassismitte unter der vorderen Bildröhrenhälfte ist die Abschirmwand für die Kammer des Kippgerätes sichtbar. Diese Abschirmwand setzt sich auch unter dem Chassis fort. Die Bildröhre selbst befindet sich zum Schutz gegen magnetische Störfelder (schon wegen des eigenen Netztrafos unbedingt erforderlich) in einem wenigstens 2 mm starken Eisenrohr (110 mm Durchmesser), das einerseits an der Frontplatte, zum anderen an der hinteren, den Netzteil abteilenden Querwand befestigt ist. Diese Querwand trägt auch den Bildröhrensockel. Der Bildschirmrand wird zweckmäßig in etwas Filz weich gelagert und durch den schon genannten Haltering festgelegt. Alle erforderlichen Maße werden selbstverständlich von den Bauteilen, insbesondere direkt von der Bildröhre, abgenommen. Die beiden großen Anodenwiderstände 3 kΩ/5 W (unbedingt Schicht-, keine Drahtwiderstände!!) stehen direkt neben Rö 3 bzw. Rö 4 auf (nicht unter) dem Chassis. Von ihnen führen kürzeste Leitungen zum Bildröhrensockel (Y-Platten). Über den Hochspannungskondensatoren und Rö 8 in Bild 25 wird zweckmäßig an der Zwischenwand eine Lötleiste angeordnet, die den Widerstandskomplex der Bildröhrenstromversorgung (Hochspannungsteilerkette) aufnimmt. Rö 8 – die ohne Sockel direkt eingelötet wird – kann evtl. gleich auf dieser Leiste mit aufgelötet werden. Der Netztrafo soll unbedingt in Chassismitte axial hinter der Bildröhre und mit der in Bild 25 sichtbaren Kernstellung montiert werden. – Die Lage der Rö 5 in der Kippteil-Kammer ist nur angedeutet. Da sich in ihrer unmittelbaren Nähe über dem Chassis die Kondensatoren an S_3 befinden (vgl. Bild 21 und 24), darf sie nicht zu nahe an diesen stehen. Zweckmäßig erhält sie eine eigene Abschirmhaube.

Bild 26 zeigt zur Verdeutlichung des Aufbaus nochmals die Sicht auf die linke Geräteseite (X-Verstärker-Seite). Lage und Befestigung von Rö 10 und ihrem Sockel sind wieder

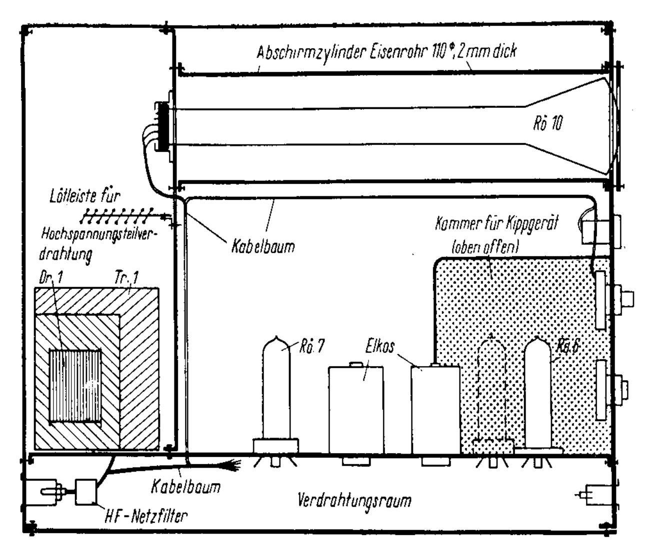


Bild 26. Sicht auf linke Seite des Oszillografen. Skizze für günstigste Einzelteilanordnung (vgl. Text)

erkennbar, ebenso ihr eiserner Abschirmzylinder. Da für diesen selten Mu-Metallblech verfügbar sein wird (was die günstigste Lösung wäre), kann hier ein normales Eisenrohrstück (Abfallstück von Klempnereien oder Stahlbaubetrieben) verwendet werden, das aber vor Einbau sorgfältig ausgeglüht und anschließend evtl. noch mit einer Tonband-Löschdrossel entmagnetisiert werden sollte, um remanente Magnetfelder zu vermeiden, die zu Bildverzerrungen führen würden.
Die Kammer für den Kippteil ist erkennbar, ihre Wand ist auch unterhalb des Chassis (in Bild 26 nicht eingezeichnet!) vorhanden und trennt dort den für den Kippteil benötigten Verdrahtungsraum gegen die benachbarten Verstärkereingänge ab. Für diese Eingänge werden – wie aus den Bildern ersichtlich – Koax-Antennenbuchsen verwendet. Ein Teil der Verdrahtung kann als Kabelbaum ausgeführt

werden, insbesondere die gleichstromführenden Leitungen. Neben den Anodenleitungen vom Netzteil sind das vor allem die zu den Reglern $P_{1 \ldots 4}$ und P_9 führenden Leitungen. Diese werden zweckmäßig gebündelt nicht unter Chassis, sondern entlang des Bildröhrenzylinders zur Frontplatte geführt, wie in Bild 26 schematisch angedeutet. Eine Ausnahme macht dabei die Leitung RT für die Hellsteuerung bzw. Rücklauftastung (Zuleitung zu g_1 der Rö 10), die als HF-Leitung zu betrachten ist. Sie kommt von der Schaltbuchse der Hellsteuerung, wird an der Frontplatte auf kürzestem Wege hinauf und längs des Abschirmzylinders zum Sockel der Rö 10 geführt, aber mit einigem Abstand von anderen Teilen und Chassis möglichst frei verlegt, keinesfalls in einen Kabelbaum einbezogen. Die Leitung darf nicht abgeschirmt werden und soll auf der dem Kabelbaum abgewendeten Zylinderseite verlaufen. Der großräumige Aufbau des Gerätes läßt reichlich Platz offen, was eine kurze, freistehende und kapazitätsarme Verdrahtung ohne zusätzliche, die schädlichen Kapazitäten steigernde Abschirmungen sowie hinreichende räumliche Trennung der Baugruppen ermöglicht.

Die Verdrahtung des Meßverstärkers (Y) geschieht nach den Gesichtspunkten der Verdrahtung eines UKW- oder Fernseh-ZF-Verstärkers (Auswahl der Erdpunkte, Stufenerdung usw.), während der Kippteil nach Art eines NF-Verstärkers mit zentralem Erdpunkt (Mittelstift Rö 5) und Chassisverbindung nur an einer Stelle (Erdbuchse an der Frontplatte) verdrahtet wird. Die Verdrahtung des X-Verstärkers erfolgt wie beim Meßverstärker Y. Die Entzerrerdrosseln L_1 und L_2 des Y-Verstärkers werden unterhalb des Chassis unmittelbar bei ihren Anodenwiderständen an der sich aus der günstigsten Verdrahtung ergebenden Stelle, also dicht bei Rö 2 so angeordnet, daß sie nicht aufeinander koppeln können (Spulenachsen senkrecht zueinander, Spulenabstand mind. 10 cm). Sie werden auf kleine Winkel in einigem Abstand vom Chassis frei, ohne Abschirmhaube montiert.

Das Gerät, dessen Chassisbau sich aus den Bildern ergibt, wird oben und unten sowie seitlich durch aufgeschraubte, zwecks Lüftung (Kühlung) hinreichend perforierte Blechplatten (Alu, besser Eisen) abgeschlossen. Durch Abnehmen

der entsprechenden Seitenplatte ist dann jeder Geräteteil zugänglich.
Zur Einstellung des Oszillografen ist hier wenig zu sagen. Grundsätzliche Schwierigkeiten werden sich bei Beachtung aller Hinweise nicht einstellen. Nach genauer Kontrolle der Verdrahtung wird das Gerät zunächst ohne Röhren unter Strom gesetzt (mit Ausnahme der Netzgleichrichterröhren), und es werden alle Betriebsspannungen nachgemessen. Wegen der fehlenden Belastung durch die Röhren liegen alle Werte zunächst etwas höher, als im Schaltbild angegeben. Die Hochspannung kann dabei nur mit Röhrenvoltmeter gemessen werden. Nach Einsetzen aller Röhren (Helligkeitsregler zunächst nicht aufdrehen) – wobei Rö 5 zunächst fortgelassen wird – und einer Anheizzeit von etwa 5 Minuten, wird der Helligkeitsregler vorsichtig aufgedreht, bis sich ein schwacher Leuchtpunkt zeigt. Diesen stellt man mit dem Schärferegler auf geringsten Punktdurchmesser ein, wobei die Schärfeeinstellung etwas von der Helligkeitseinstellung abhängt. Sie soll etwa in Reglermitte von P_4 liegen. Zuvor jedoch wird der Leuchtpunkt mit P_1 und P_2 auf Bildschirmmitte gebracht, wobei beide Regler ebenfalls etwa in Mittelstellung zu stehen kommen müssen. Bei diesen Einstellungen ist die Gefahr des Einbrennens des stehenden Leuchtfleckes besonders groß, es wird daher mit geringstmöglicher, im dunklen Raum gerade erkennbarer Helligkeit gearbeitet.
Anschließend kann Rö 5 eingesetzt und der Kippteil in Funktion genommen werden. Bei entsprechender Einstellung von P_7 und S_2 muß nun die Zeitachse (X-Achse, waagerechter Strich) geschrieben werden, wobei die Helligkeit etwas zu erhöhen und die Schärfe nachzustellen ist. Nachdem geprüft wurde, ob der Kippteil in allen Stellungen von S_3 schwingt, wird mit P_7 bei tiefster Kippfrequenz – das Wandern des Leuchtflecks ist dabei noch gut mit dem Auge erkennbar – die Strichlänge so eingestellt, daß gerade der ganze Bildschirm ausgeschrieben wird. P_7 muß dann noch reichlich „Reserve" haben. Nun wird beobachtet, ob bei Übergang zu den höheren Kippfrequenzen mit S_3 die Zeitachse völlig gerade bleibt und sich nicht verkürzt. Letzteres weist auf Amplitudenabfall bei höheren Frequenzen – meist

durch ungünstigen Aufbau, besonders des Komplexes um S_3 – hin und darf allenfalls in den drei letzten Schalterstellungen ganz geringfügig der Fall sein. Eine Krümmung der Zeitachse am Ende zeigt Einstreuung der Kippfrequenz in den Y-Meßverstärker (mangelhafte Schirmung) an. Welligkeit der Nullinie bei Kippfrequenzen unter 200 Hz deutet auf Brummeinstreuung (Netzbrumm). Bleibt dies auch nach Entfernen der Rö 3 und Rö 4 so, dann liegt magnetische Einstreuung auf die Bildröhre (meist vom eigenen Netztrafo her) vor, anderenfalls handelt es sich um elektrische Einstreuungen auf den Y-Verstärker (Heizungssymmetrie einstellen!). Nunmehr kann probeweise ein 50-Hz-Sinusoszillogramm dargestellt werden, was durch Anlegen einer kleinen Netzwechselspannung an den Y-Eingang oder auch über den Eichspannungsregler geschieht. Hierbei wird gleichzeitig die Synchronisation (50 Hz und Eigen) überprüft.

Zur genauen Ermittlung der Daten des Meßverstärkers wäre grundsätzlich ein Rechteckwellen-Generator erforderlich. Für die Kontrolle der unteren Frequenzgrenze kann behelfsweise ein einfacher Rechteck-Prüfgenerator nach Bild 27 aufgebaut werden, der provisorisch aus dem Oszillografen mitgeheizt wird. Er erhält die Netzspannung 220 V ~ zugeführt und gibt ein sehr sauberes 50-Hz-Rechteck von etwa 3 V_{ss} ab. Die Batterien B_1, B_2 sind gewöhnliche 1,5-V-Monozellen. Das am Ausgang vorhandene Rechteck wird

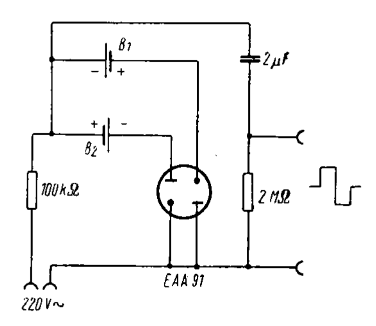


Bild 27. Einfacher 50-Hz-Rechteckwellengenerator. Hilfsschaltung für oszillografische Proben (vgl. Text)

dem Y-Eingang zugeführt und muß einwandfrei wiedergegeben werden. Bild 28 a zeigt – schematisch übertrieben – die erhaltene Kurvenform. Der „Dachabfall" D darf nur etwa 2 Prozent der Gesamthöhe des Rechtecks betragen. Die Prüfung der oberen Frequenzgrenze würde ein Rechteck höherer Frequenz (200 ... 500 kHz) erfordern. Zu dessen Erzeugung fehlen dem Amateur jedoch meist die Mittel. Falls die Möglichkeit besteht, eine Sinusschwingung dieser Frequenz mit einer Spannung von etwa 200 V zu erzeugen (etwa mittels HF-Generator und nachgeschaltetem Verstärker, evtl. provisorisch aufzubauen), kann diese mittels des Rechteckbegrenzers nach Bild 27 ebenfalls zum Rechteck umgeformt und für die Prüfung verwendet werden. Das Verhalten des Meßverstärkers bei höheren Frequenzgrenzen wird an der vorderen Impulskante (Punkt A in Bild 28 a) erkannt. Ist diese nach Bild 28 b verformt, so deutet das auf Einschwingvorgänge im Meßverstärker (Überkompensation) hin. Frequenzabfall äußert sich in Verrundung der Impulskante (Bild 28 c). Im Idealfall muß diese rechteckig und scharf abgegrenzt verlaufen. Die richtige Impulsform wird hierzu mit den Korrekturdrosseln L_1, L_2 im Meßver-

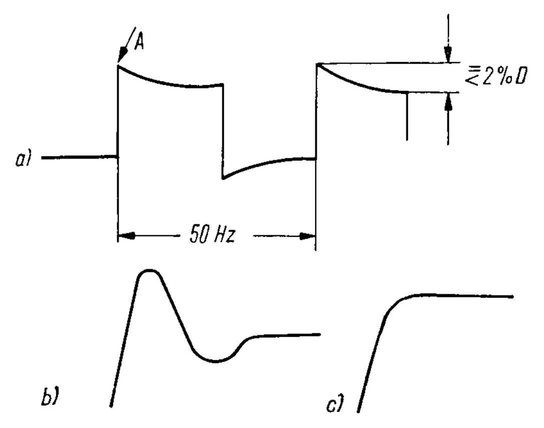


Bild 28. Verschiedene Oszillogrammformen eines 50-Hz-Rechtecks (Erklärung im Text)

stärker eingestellt. Für geringere Ansprüche genügt es jedoch zunächst, diese Prüfung mit einem Rechteck von nur 15...30 kHz vorzunehmen, was mittels Tongenerator und geeignetem NF-Spannungsverstärker leichter zu improvisieren ist. Die Einstellung der Korrekturdrosseln gestaltet sich dann einfacher. Hingewiesen sei auch auf die Möglichkeit, den Zeilensynchronimpuls eines Fernsehgerätes hierfür zu verwenden. Da dieser aber meist schon nicht unverfälscht ankommt, ist hierbei ein guter Zweitoszillograf als Vergleichsgerät (leihweise beschaffen!) unumgänglich. Soweit diese Möglichkeit besteht, sollte sie in jedem Falle ausgenutzt werden. Die Oszillografen sind dann eingangsseitig parallelzulegen.

Der X-Verstärkereingang wird ebenso überprüft, wobei der 50-Hz-Rechteckimpuls hier bereits sehr betonte Dachschräge (etwa 30 Prozent) zeigen wird, was aber für den X-Verstärker zulässig ist. Für die hochfrequente Prüfung, auf die beim X-Verstärker eher verzichtet werden kann, kommt ein Rechteckimpuls von etwa 10 kHz in Frage.

Abschließend zu dieser Baubeschreibung die Netztrafo-Wickeldaten:

Kern M 102/52 (Ktr 7), 17,4 cm² Fe, Schichtung wechselseitig.

Reihenfolge der Wicklungen von innen nach außen:
I, +, Va, Vb, IV, III, +, II, +, VIII, VII, V, IX.

Das Zeichen + bedeutet, daß an dieser Stelle hochspannungsfeste Zwischenisolation (bis 3 kV) erforderlich ist.

Wicklung I:	440 Wdg. 0,5 CuL – Netz 220 V ~, etwa 130 VA
„ II:	11 Wdg. 0.65 CuL – 4 V, 0,85 A
„ III:	18 Wdg. 0,2 CuL – 6,3 V, 0,1 A
„ IV:	3100 Wdg. 0,05 (Lagenisolation doppelt) – 1100 V, 2 mA
„ Va, Vb:	je 1000 Wdg. 0,25 CuL – je 350 V, 160 mA
„ VI:	45 Wdg. 0,12 CuL – 16 V, 2 mA
„ VII:	23 Wdg. 0,12 CuL – 8 V, 2 mA
„ VIII:	19 Wdg. 1,2 CuL – 6,3 V, 2,5 A
„ IX:	19 Wdg. 1,2 CuL – 6,3 V, 2,5 A

NF-KLIRRFAKTORMESSGERÄT

Speziell für den, der vorwiegend mit Aufgaben aus dem Gebiet der Tontechnik (NF-Verstärker, Tonbandtechnik usw.) zu tun hat, ist eine Klirrfaktor-Meßeinrichtung von großer Bedeutung. Vorbilder derartiger Geräte aus der kommerziellen Technik sind hier nicht heranzuziehen, da sie einen für Amateure undiskutablen Aufwand benötigen. Es wurde daher ein Gerät entworfen, das den Ansprüchen der Amateurpraxis entspricht. Es sind damit Klirrfaktoren beliebiger NF-Verstärker aller Art zwischen 1 ... 30 Prozent meßbar, die Meßgenauigkeit liegt bei 1 Prozent. Da die Verwendung zweier feststehender Meßfrequenzen (hier 200 Hz und 2 kHz) praktisch ausreicht, konnte der Aufwand für ein durchstimmbares Filter umgangen und zwei festabgestimmte Filter benutzt werden. Als Anzeigeorgan findet die „magische Waage" EM 83 Verwendung. Der Aufbau ist einfach und erfordert außer einiger Geduld und Sorgfalt beim Abgleich der Filter keine besonderen Hilfsmittel.

Der Klirrfaktor eines NF-Verstärkers ist definiert als das Verhältnis des Effektivwertes der Summe der Oberwellen zum Effektivwert der Summe von Grundwelle und Oberwellen. Demzufolge beruht das Meßprinzip darauf, dem zu prüfenden Verstärker eine weitestgehend oberwellenfreie Sinusschwingung zuzuführen. Wegen der im Meßobjekt vorhandenen Nichtlinearitäten (Kennlinienkrümmungen, falscher Arbeitspunkt u. ä.) ist diese Sinusschwingung am Ausgang des Meßobjektes oberwellenhaltig. Im Klirrfaktormesser wird jetzt die Grundwelle ausgefiltert und die Höhe des Oberwellenanteils mit der Höhe des ungefilterten Grundgemisches verglichen. Das Verhältnis gibt direkt den Klirrfaktor in Prozent an. Die Filter für die Grundwelle müssen dabei extrem starke Dämpfungen und steile Flanken aufweisen. Für eine untere Meßgrenze von 1 Prozent muß die Filterdämpfung dann besser als 40 dB (> 1 : 100) sein. Derartige Filter sind im NF-Bereich nur mit speziellen RC-Schaltungen realisierbar.

Bild 29 zeigt die Schaltung des Klirrfaktormessers. Er besteht aus dem Meßspannungs-Tongenerator Rö 1 (ECC 83), dem Filter- und Verstärkerteil sowie dem Anzeigeteil

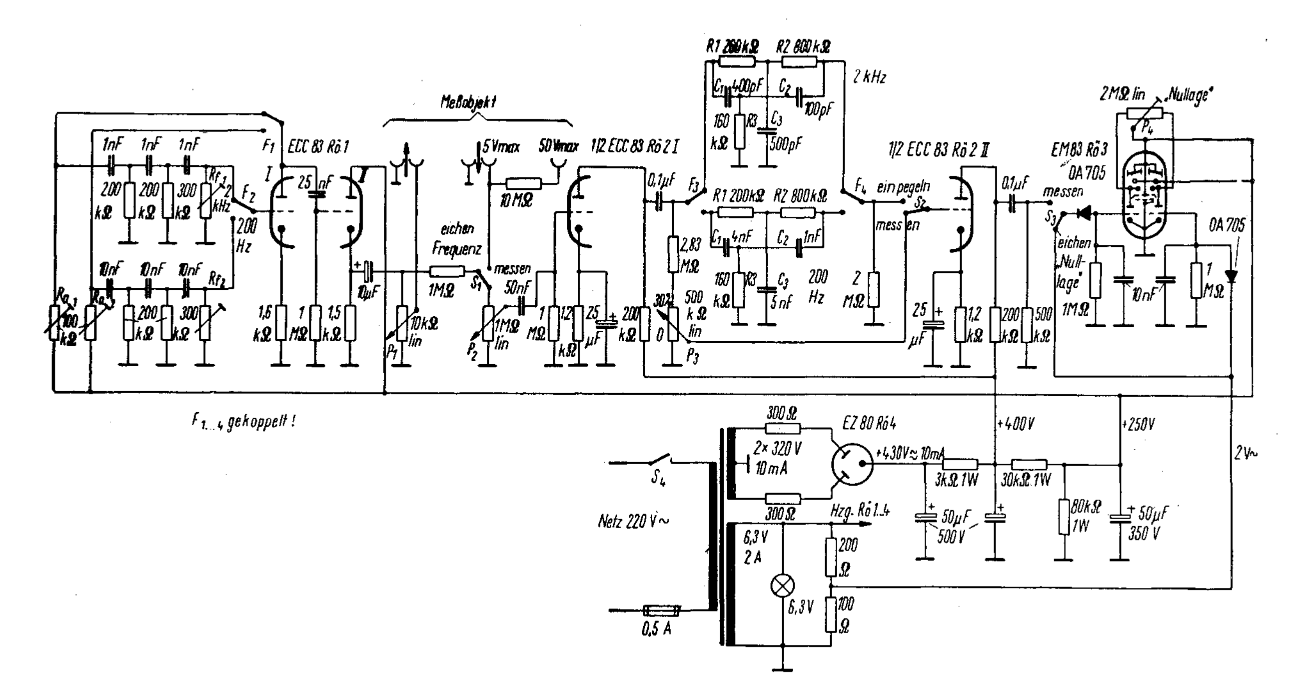


Bild 29. Klirrfaktormeßgerät. Schaltung des Gerätes

(Rö 2 und Rö 3). Der Tongenerator ist mit einer dreiteiligen Phasenschieberkette aufgebaut. Diese Schaltung zeichnet sich durch Einfachheit und sehr stabiles Verhalten gegenüber Röhrenalterungen und Spannungsschwankungen sowie durch sehr gute Oberwellenfreiheit aus. Auf Stabilisierungsmaßnahmen kann daher verzichtet werden. Das Röhrensystem Rö 1_I – der eigentliche Generator – wird mit dem Schalter F_1, F_2 auf die der jeweiligen Meßfrequenz entsprechende RC-Kette aufgeschaltet. Die von der Anode Rö 1_I abgenommene NF gelangt über die Anodenbasisstufe Rö 1_{II} – die für einen niederohmigen Ausgang sorgt und als Trennstufe erforderlich ist – zum Ausgangsregler P_1. Mit den Anodenwiderständen Ra_1, Ra_2 wird der Generator so eingestellt, daß er bei der jeweiligen Frequenz gerade knapp anschwingt. Falsche Einstellung kann hier zu Oberwellenbildung im Generator führen, die ins Meßergebnis eingeht und dieses verfälscht. Mit den Reglern Rf_1 und Rf_2 kann die betreffende Generatorfrequenz etwas verändert werden. Das ist erforderlich, weil die Filter festabgestimmt sind und eine Bandbreite von nur wenigen Hz haben. Bei geringen Frequenzabweichungen des Generators kommen sie daher sofort außer Resonanz, was ebenfalls das Meßergebnis verfälschen kann. Die Regler Rf_1, Rf_2, Ra_1 und Ra_2 werden als Trimmregler für Schraubenziehereinstellung (Schlitzachse) so angeordnet, daß sie von der Frontplatte aus bedienbar sind.

Die vom Ausgang des Meßobjektes abgenommene Spannung gelangt – je nach ihrer Höhe – über die Eingangsbuchsen für 5 bzw. 50 $V_{max.}$ und Umschalter S_1 zum Eingangs-Pegelregler P_2. Die nachfolgende Stufe muß, um die Filterdämpfung auszugleichen, sehr hohe Verstärkung aufweisen. In der gewählten Dimensionierung und mit der Betriebsspannung von 400 V sind etwa 36 dB (etwa 80fach) erreichbar. Leider beträgt der Klirrfaktor dieser Stufe bereits fast 1 Prozent. Da dies mit in die Messung eingeht, ist hiermit die untere Meßgrenze gegeben. Dieser bedeutungslose Nachteil (Klirrfaktoren unter 1 Prozent sind nur noch von „akademischem" Interesse) wäre nur durch erhöhten Röhrenaufwand auszugleichen, was angesichts der Forderungen der Praxis sinnlos ist. Die Ausgangsspannung dieser

Stufe gelangt einmal zum Filter-Umschaltkontakt F_3 (die Kontakte $F_{1...4}$ sind gekoppelt), ferner über einen Vorwiderstand von 2,83 MΩ, dessen Wert genau einzuhalten ist (zusammensetzen aus Teilwiderständen 2 MΩ + 800 kΩ + 30 kΩ) zum Ablese-Regler P_3. Dieser ist in „Prozent Klirrfaktor" geeicht, seine Skala reicht von 0...30 Prozent. Die obere Grenze wurde aus praktischen Erwägungen mit 30 Prozent gewählt. Klirrfaktoren > 30 Prozent sind in der Praxis ohnehin untragbar, ihre zahlenmäßige Bestimmung also wertlos. Dagegen ergibt sich jetzt eine günstige Eichmöglichkeit für P_3, wenn ein üblicher Linear-Regler mit 270° Drehwinkel benutzt wird. Die Eichung erfolgt dann rein grafisch mit Zirkel und Winkelmesser, wobei 90° Drehwinkel einem Klirrfaktor von 10 Prozent entsprechen. Dies ist wesentlich, da dem Amateur normalerweise keine andere Eichmöglichkeit (Vierpole mit definiertem Klirrfaktor o. ä.) zu Verfügung steht.

Zwischen den Umschaltkontakten F_3 und F_4 liegt das zur jeweils eingeschalteten Frequenz gehörige Filter. Es ist ein unsymmetrisches Doppel-T-RC-Glied und bewirkt eine selektive Dämpfung der Grundwelle um wenigstens 40 dB, bei sorgfältigem Abgleich 50 dB (1 : 300). Die Oberwellen werden praktisch ungeschwächt durchgelassen, da die Bandbreite nur wenige Hz beträgt. An F_4 sind daher praktisch nur noch die Oberwellen der Meßfrequenz vorhanden, die in der nachfolgenden Stufe (Rö 2_{II}), deren Klirrfaktor nicht mehr in die Messung eingeht, auf einen zur Anzeige ausreichenden Wert verstärkt werden. Von der Anode der Rö 2_{II} gelangt die NF über S_3 zum linken System der Anzeigeröhre Rö 3. Deren rechtes System erhält eine feste, aus der Heizspannung abgeleitete Vorspannung von etwa 2 Volt. Der rechte Leuchtbalken steht damit konstant und dient lediglich als Bezugsstrich („Nullage") für den linken Leuchtbalken. Vor beiden Anzeigesystemen werden die Wechselspannungen in üblicher Weise mittels Germaniumdioden OA 705 gleichgerichtet, um eine scharfbegrenzte Leuchtkante zu erhalten.

Bei der Messung wird zunächst S_3 auf „eichen Nullage" gelegt, dann mit P_4 (Trimmregler) auf genau gleiche Balkenhöhe beider Anzeigesysteme eingestellt. Später

wird nur bei Röhrenalterungen der Rö 3 ein Nachgleich von P_4 erforderlich sein. Hiernach steht S_3 wieder auf „messen", S_2 steht jetzt auf „einpegeln", S_1 auf „eichen Frequenz". Nun wird Schalter F auf eine der Meßfrequenzen geschaltet und P_2 so weit geregelt, daß der linke Leuchtbalken der Rö 3 fast voll erscheint. Bedarfsweise kann jetzt zur Sicherheit der Trimmregler Ra im Generator für die betreffende Frequenz so weit zurückgeregelt werden, bis die Schwingungen gerade noch nicht abreißen (was ggf. am Verschwinden des Leuchtbalkens sichtbar wird). Vor Meßbeginn ist es erforderlich, die Generatorfrequenz genau der Filterfrequenz anzugleichen, was anschließend an die Einstellung von Ra durch Einregelung des zugehörigen Rf-Reglers auf Leuchtbalken-Minimum geschieht. Dabei ist P_2 bedarfsweise so weit nachzustellen, daß das Minimum gut erkennbar bleibt. Dieser Eichvorgang muß für die zweite Meßfrequenz (F umschalten) sinngemäß mit Ra und Rf wiederholt werden. Damit ist das Gerät meßbereit. Wie das Mustergerät zeigte, sind diese Eichvorgänge nur selten zu wiederholen, sollen aber zur Sicherheit trotzdem vor jeder Messung vorgenommen werden.
Schalter S_1 wird nun ebenfalls auf „messen" geschaltet und dem Meßobjekt die Generatorspannung von P_1 zugeführt. Da im allgemeinen der Klirrfaktor bei Vollaussteuerung interessiert, ist P_1 so einzustellen, daß das Meßobjekt gerade voll ausgesteuert wird. Die an dessen Ausgang abgegriffene Spannung führt man den Eingangsbuchsen des Klirrfaktormessers zu. Jetzt wird P_2 (Schalter S_1 und S_3 in Stellung „messen" und S_2 in Stellung „einpegeln") so weit aufgeregelt, daß beide Leuchtbalken der EM 83 genau gleiche Höhe haben. P_2 darf jetzt nicht mehr verändert werden! Nunmehr wird S_2 auf „messen" umgeschaltet. Anstelle nur des Oberwellenanteiles gelangt jetzt an Rö 2_{II} das gesamte, ungefilterte Gemisch über Regler P_3. Dieser wird jetzt ebenfalls so weit aufgeregelt, bis beide Leuchtbalken wieder gleiche Höhe zeigen. Damit entspricht die an P_3 abgegriffene Spannung genau der Spannung der vom Filter durchgelassenen Oberwellen. Am geeichten Regler P_3 kann jetzt unmittelbar der Klirrfaktor in Prozent abgelesen werden. – Wie ersichtlich, wird beim Eichvorgang mit S_1 das

Meßobjekt umgangen, eine in Stellung „eichen Frequenz" von S_1 anschließend durchgeführte Kontrollmessung darf daher höchstens 1 Prozent Eigenklirrfaktor ergeben, wenn die Voreichung vor Meßbeginn richtig durchgeführt wurde.
Der Netzteil weist keinerlei Besonderheiten auf. Die für Rö 2 nötige, hohe Anodenspannung von 400 V wird durch Spannungsteilung auf den für die anderen Röhren erforderlichen Wert reduziert.
Zum Aufbau und Abgleich der Filter – dem Herz des Gerätes – ist einiges zu sagen. Der Wert des gesamten Gerätes hängt von der genauesten Einhaltung der Filterwerte für $R_{1 \ldots 3}$ und $C_{1 \ldots 3}$ ab. Um auf die geforderte Resonanzschärfe und Mindestdämpfung von $\geqq$ 40 dB zu kommen, müssen unbedingt engtolerierte Präzisionswiderstände und -kondensatoren verwendet werden. Toleranzen von $\pm$ 0,5 Prozent für alle Teile sind bereits als Höchstmaß anzusehen. Weil derartige Teile relativ schwer erhältlich sind und ohnehin ein Feinabgleich erforderlich ist, wird man mit einer guten Meßbrücke ausgesuchte Exemplare verwenden und beim Erstabgleich der Filter Geduld und Sorgfalt aufbringen müssen. Zweckmäßig montiert man die Filter als komplette Einheiten auf kleine Lötleisten, die dann im Gerät mit der Generatorfrequenz und nach Beobachtung der Rö 3 abgeglichen werden. Zuvor muß jedoch der Generator mittels Vergleichs-Tongenerator oder Oszillograf (Frequenzvergleich mit 50-Hz-Netz!) auf seine Sollfrequenzen kontrolliert werden. Nur wenn diese genau stimmen, stimmen auch die Dimensionsangaben für die Filter in Bild 29. Die Werte für $R_{1 \ldots 2}$ und $C_{1 \ldots 2}$ sollen von vornherein möglichst genau sein, da sonst der gesamte Abgleichvorgang unübersichtlich wird. Bei größeren Wertabweichungen kann es unmöglich werden, den Resonanzpunkt des Filters überhaupt aufzufinden. Der Feinabgleich erfolgt jeweils mit R_3 und C_3, wobei R_3 vorwiegend die Filterdämpfung, weniger die Frequenz, C_3 dagegen vorwiegend die Frequenz beeinflußt. Der Abgleich beider ist daher wechselseitig vorzunehmen (zweckmäßig schaltet man C_3 einen Trimmer von etwa 2 Prozent des Wertes von C_3 parallel, mit R_3 entsprechend einen Kleinst-Trimmwiderstand 0,1 W – wie sie in Fernsehgeräten für Abgleich-

zwecke frei eingelötet sind – von 2 Prozent des Wertes von R_3 in Serie) und mit C_3 zu beenden. Das fertig abgeglichene Filter wird mittels Röhrenvoltmeter kontrolliert. Auf Resonanzfrequenz darf die hinter dem Filter liegende Spannung höchstens $^1/_{100}$ (möglichst weniger) der Filtereingangsspannung betragen. Die Filter dürfen dann – da ihre Verdrahtungskapazität in den Abgleich eingeht! – nicht mehr räumlich verändert werden.

Zum Aufbau des Gerätes ist zu sagen, daß es hinsichtlich Chassisaufbau und Verdrahtung etwa einem üblichen NF-Verstärker entspricht. Bild 30 zeigt schematisch die zweckmäßigste Frontplattenaufteilung, aus der sich zwangsläufig die Anordnung der übrigen Teile ergibt. Links im Gerät ist der NF-Generator untergebracht, rechts im Gerät der Klirrfaktormesserteil. Die Lage der Bedienungsorgane und (angedeutet) Röhren ergibt der Vergleich mit Bild 29. Der Netzteil sitzt quer an der Chassishinterkante. Rö 3 ist an der Frontplatte über dem Generatorteil angeordnet und durch einen Ausschnitt sichtbar. Die geschlitzten Achsstümpfe der Trimmregler Ra, Rf und P_4 schließen mit der Frontplatte ab. Für die Schalter $S_{1\ldots4}$ werden gewöhnliche einpolige Kippumschalter benutzt. In Frontplattenmitte liegt der Frequenzumschalter $F_{1\ldots4}$. Hierfür kann ein Schalter mit viermal zwei Kontakten hochwertiger Aus-

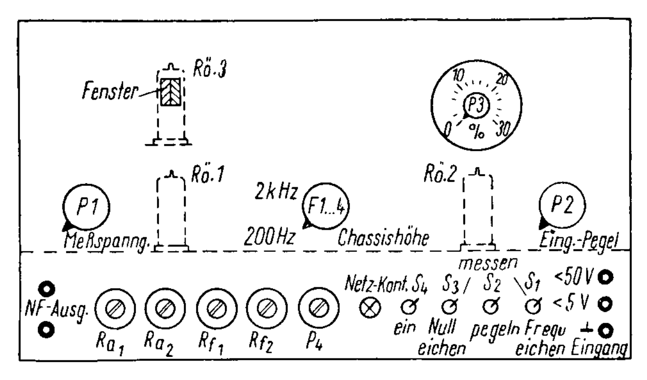


Bild 30. Klirrfaktormeßgerät. Frontplattenaufteilung

führung (einzelne Schaltebene aus Wellenschaltersatz o. ä.) verwendet werden, auch die Benutzung eines Tastenschalters (dreiteiliger Miniatur-Tastenschalter von Neumann) ist möglich. Zweckmäßig werden dann die links liegenden Kontakte $F_{1 \ldots 2}$ von den rechts liegenden $F_{3 \ldots 4}$ durch eine senkrechte, in Achsebene stehende Abschirmwand (bei Verwendung eines Tastenschalters steht die Wand über der mittelsten, unbenutzten Taste) abgeschirmt, um ein direktes *Einstreuen der Generatorfrequenz in den Filterteil zu verhüten.* Die RC-Phasenschieberketten des Generators werden zweckmäßig direkt neben bzw. an dem linken Schalterteil $F_{1 \ldots 2}$ montiert, also oberhalb des Chassis; die Filter entsprechend rechts der Schalter-Abschirmwand oberhalb des Chassis, so daß sie zum Abgleich leicht zugänglich sind. Die Filter sollen voneinander und vom Chassis bzw. anderen Bauteilen einigen Abstand haben.
Röhre Rö 2, die in diesem Bezirk steht, wird zweckmäßig mit Abschirmbecher versehen (bei Rö 1 entbehrlich) und so angeordnet, daß durch ihre Betriebswärme keine Erwärmung der Filter hervorgerufen werden kann. Bereits eine minimale Erwärmung des Filters und die dadurch hervorgerufenen, geringen Wertänderungen der Bauteile können durch Verstimmung zu einer merklichen Verschlechterung der Filterdämpfung und damit zu Meßfehlern führen. Im Zweifelsfall gibt die beschriebene Kontrollmessung des Eigenklirrfaktors (unter Umgehung des Meßobjektes mit S_1 in Stellung „eichen Frequenz") hierüber bzw. über eingetretene Veränderungen Aufschluß. Ist bei Filterverstimmungen auch durch Frequenznachstimmung mit Regler Rf und Ra der Eigenklirrfaktor nicht auf 1 Prozent herabzudrücken, so liegt mangelhafter Filterabgleich vor, der — wenn erst später aufgetreten — u. a. auf Temperatureinflüssen beruhen kann.

NF-PRÜFVERSTÄRKER

Für viele praktische Arbeiten — Erprobungen von Lautsprechern, Tonabnehmern, Mikrofonen oder Teilschaltungen aller Art — wird eine *provisorische NF-Wiedergabeeinrichtung*

mittlerer Qualität und Leistung benötigt, d. h. ein möglichst universell verwendbarer NF-Verstärker. Da ein solcher leicht aufzubauen ist, sollte er auf keinem vollständigen Meßplatz fehlen. Als für diese Zwecke besonders geeignet erweist sich ein Verstärker nach der Schaltung Bild 31. Es handelt sich um einen konventionell geschalteten dreistufigen NF-Verstärker mittlerer Leistung (etwa 3 W) mit einer Eingangsempfindlichkeit um 2 mV. Der Eingang ist sehr hochohmig ausgelegt und ermöglicht daher ohne weiteres auch den Anschluß z. B. von Kristallmikrofonen u. ä. hochohmigen Quellen. Für niederohmige Quellen (Tauchspulmikrofone, magnetische Tonabnehmer) wird dem Eingang einfach ein Widerstand der geforderten Abschlußimpedanz parallelgelegt. Der Ausgang ist niederohmig (A_2, 6 Ω) und hochohmig (A_1, 5 ... 10 kΩ) vorhanden, wobei der hochohmige Ausgang gleichstromfrei ist. Der eingebaute Lautsprecher ist mit S_1 abschaltbar. Durch die noch zu erklärende Besonderheit der Lautstärkeregelung wird bei unbelastetem Ausgang (S_1 offen) ein schädliches Hochlaufen der Ausgangsspannung vermieden, eine etwaige Übersteuerung zeigt im übrigen die gleichzeitig als Überspannungsschutz für den Ausgangstrafo dienende Stabglimmbirne Gl (110-V-Typ) an. Der Netzteil weist keinerlei Besonderheiten auf; als Gleichrichterröhre können alle üblichen Typen oder auch Selengleichrichter verwendet werden. Zu Rö 3 und Netztrafo sind daher – außer den benötigten Spannungen und Strömen – keine näheren Angaben gemacht. Eine Klangregelung ist in diesem Verstärker nicht enthalten, um eine stets gleichbleibende, das ganze Frequenzband linear umfassende und der Eingangsspannung getreue Wiedergabe zu erreichen, da es bei einem Prüfverstärker nicht auf angenehmen Klang, sondern auf unverfälschte Wiedergabe ankommt.
Dem kommt auch die vorhandene frequenzlineare Gegenkopplung, die gleichzeitig als Lautstärkeregelung dient, entgegen. Diese Schaltung vermindert weitestgehend das Entstehen zusätzlicher Verzerrungen im Prüfverstärker. Für die Lautstärkeregelung ist nicht das übliche Prinzip zu benutzen, vielmehr wird die Ausgangsspannung am niederohmigen Ausgang abgegriffen und zur Katode der Vor-

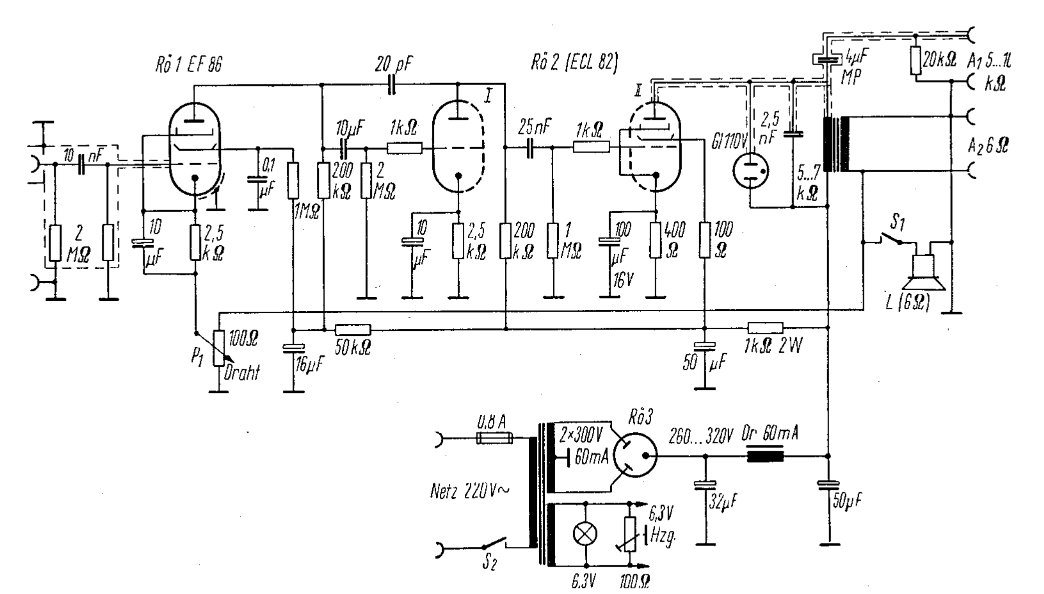


Bild 31. NF-Prüfverstärker, Schaltung. Beim Auftreten von Selbsterregung ist die Primärwicklung des Ausgangstrafos umzupolen

stufe Rö 1 (EF 86) zurückgeführt. Der niederohmige Regler P_1 dient als Lautstärkeregler, wobei die Schleiferstellung am masseseitigen Ende der vollen Verstärkung (also anders als gewohnt) entspricht. Das ist beim Anschluß des Reglers zu beachten. Der Regler kann lineare, besser aber – wenn beschaffbar – logarithmische Kennlinie (negativ-log.) haben. Diese etwas ungewöhnliche Verstärkungsregelung bietet in diesem Falle neben den bereits genannten, noch weitere Vorteile: Bei der sehr hohen Gesamtverstärkung wird das Röhrenrauschen der 1. Stufe durch die Regelung ebenfalls gemindert. Ein konventionell geschalteter Eingangsregler müßte ja v o r der 1. Stufe sitzen, um deren Übersteuerung auch bei möglichen größeren Eingangsspannungen (bis etwa 2 V NF) zu verhüten. In der hier verwendeten Schaltung ergibt sich eine große Übersteuerungsfestigkeit innerhalb eines weiten Eingangsspannungsbereiches (2 mV ... etwa 3 V). Die Lautstärke ist nicht ganz bis auf Null zu bringen, so daß keine Irrtümer durch versehentlich zugedrehten Regler entstehen können, was im Schaltungsprinzip begründet liegt.

Da der Aufbau dieses Verstärkers völlig unkompliziert ist und dem Gewohnten entspricht, kann er je nach persönlichem Wunsch und Gegebenheiten erfolgen, so daß es auch wenig Sinn hat, eine Aufbauskizze zu geben. Zu beachten ist lediglich die angedeutete Abschirmung von Eingang und Anodenleitung der Endstufe. – Im Rahmen des hier beschriebenen Meßplatzes kann das Gerät – falls das eingangs behandelte Röhrenvoltmeter bereits aufgebaut wurde – sehr gut mit dessen Tastkopf kombiniert werden. Der normalerweise zum Eingang des Röhrenvoltmeters führende Tastkopfanschluß (Bild 6) wird an den Eingang des Prüfverstärkers gelegt, die Tastkopfröhre aus diesem mitgeheizt. Falls der Tastkopf zum RVM eine spezielle Kupplung (vgl. dortige Beschreibung) erhält, kann deren Gegenstück auch gleich zusätzlich am Prüfverstärker vorgesehen werden. Es ist damit möglich, die Modulation von HF-Spannungen abzuhören, z. B. also ZF-Verstärker in Rundfunkempfängern direkt anzutasten, was prinzipiell dem Signalverfolgungs-Verfahren entspricht. Nicht zu schwache HF-Spannungen können im übrigen auch ohne jeden Tast-

kopf dem Eingang des Prüfverstärkers direkt zugeleitet werden. Die Gitter-Katodenstrecke der Rö 1 wirkt als Demodulator. Im direkten Nahfeld stärkerer Sender kann dann u. U. eine mangelhafte Schirmung des Einganges (Anschluß eines kurzen Drahtstücks) bereits den Sender hörbar werden lassen. Sollte das als störende Begleiterscheinung bei einem Prüfvorgang vorkommen, so wird durch Parallelschalten eines kleinen Kondensators zum Eingang sofort Abhilfe geschaffen.

ALLGEMEINES ZUR GESTALTUNG UND ARBEIT AM MESSPLATZ

Bild 1 zeigte bereits das Beispiel eines mit den bisher beschriebenen Geräten ausgestatteten Amateur-Meßplatzes. Entsprechend dem im Vorwort Gesagten wurden im wesentlichen die Einzelgeräte beschrieben. Zur Gesamtgestaltung des Meßplatzes – der je nach örtlichen Gegebenheiten, Wünschen und Zielsetzungen stets individuell verschieden ausfallen wird – kann daher in diesem Rahmen wenig gesagt werden. Die folgenden Hinweise sollen lediglich einige Einzelheiten andeuten, die bei der Planung oft übersehen werden.
Wie früher schon erwähnt, ist anzustreben, daß jedes der Meßgeräte für sich auch an anderem Ort benutzt werden kann. Eine zu starre Bindung an Gestelleinschübe, etwa ohne eigenes Gehäuse für jedes Gerät, oder Zuführung der Stromversorgung über Messerleisten, erweist sich daher als nicht ratsam. Grundsätzlich sollte jedes Gerät über normale Netzschnur angeschlossen sein und daher auch stets ein eigenes Netzteil haben. Die für jedes Gerät erforderliche Erdleitung kann entweder gesondert oder mit über das Netzkabel (Schukostecker) zugeführt werden. Über diese Erdleitung sind am Meßplatz gleichzeitig alle Geräte-Masseanschlüsse miteinander verbunden, was die Zusammenschaltung mehrerer Geräte erleichtert. Fest im Gestellrahmen des Meßplatzes eingebaut sollte sein eine Hauptschalttafel mit Hauptsicherung für den gesamten Meßplatz

(einschließlich Lötkolbenanschluß und freien Steckdosen) sowie Hauptschalter, über die sämtliche Geräte zentral abgeschaltet werden können. Es kann dann nie passieren, daß einmal eines der Geräte versehentlich unter Strom bleibt. Gleichzeitig empfiehlt sich für diese Schalttafel ein einfaches, ständig am Netz liegendes Voltmeter zur Netzspannungskontrolle. Wo öfters Abweichungen von der Sollspannung 220 V ~ auftreten, ist die Verwendung eines nicht zu schwachen (300 VA) Regeltrafos für den gesamten Meßplatz angebracht. Dieser soll aber wegen seines starken Streufeldes in einigem Abstand (nicht im Gestell bei den Meßgeräten) angeordnet werden, sein Stufenschalter (Handregler) wird zweckmäßig auf der Hauptschalttafel beim Voltmeter untergebracht. Magnetische (automatische) Spannungskonstanthalter sind hier nicht verwendbar, weil die abgegebene Spannung nicht mehr sinusförmig, also für den Meßplatz unbrauchbar ist.

Wertvoll ist auch ein Universal-Netzteil, der aus einem starken Trafo mit zahlreichen Anzapfungen sowie den nötigen Gleichrichtern besteht und die Entnahme von Gleich- und Wechselspannungen von etwa 1 ... 700 V in entsprechenden Abstufungen gestattet. Bauanleitungen hierfür sind zahlreich bekannt und gehen über die Zielsetzung dieses Heftes hinaus. Auch ein einfacher Glimmlampen-Durchgangsprüfer, umschaltbar für = und ~, mit etwa 500 V Betriebsspannung, und ein ebensolcher mit Kleinglühlampe, mit etwa 3 ... 6 V aus einem Trafo gespeist (für niederohmige oder Schwachspannungs-Bauteile) sollen entweder auf der Hauptschalttafel oder – wenn vorhanden, günstiger – beim Universalnetzteil vorgesehen werden.

Zubehör zum Meßplatz ist ein gutes Vielfachmeßinstrument, etwa wie Multizet, EAW-Universalmesser o. ä. Falls hier zum Selbstbau geschritten wird, ist die lose Trage- bzw. Handgerät-(nicht Gestelleinbau-)Form zu wählen.

Zubehör zum Meßplatz sind weiter eine Anzahl gut isolierter Prüfschnüre, Prüfspitzen und Krokodilklemmen sowie zwei, besser drei Koax-Antennenkabel „blau" je 1,20 Meter lang, mit beiderseits angesetzten Koaxsteckern und zusätzlich angelöteten 10 cm langen Litzenenden mit Bana-

nenstecker für den Masseanschluß bei einfachen Steckbuchsen. Diese Kabel dienen für den Anschluß der hier beschriebenen Meßgeräte (RVM, NF- und HF-Generator, Oszillograf usw.) sowie für alle abzuschirmenden HF- und NF-Verbindungen. Sie bewähren sich am Meßplatz allgemein besser als NF-Schirmkabel. An Anschlüssen sollen am Meßplatz wenigstens 3 bis 4 freie Steckdosen (davon eine v o r dem etwa vorhandenen Regeltrafo abzweigend, um bei dessen Maximalbelastung evtl. weitere Geräte ungeregelt anschließen zu können), mehrere freie Erdbuchsen und zwei Antennenbuchsen (Langdraht), dazu ggf. noch Anschluß der UKW- oder FS-Antenne sowie ein besonderer Anschluß für den Lötkolben (evtl. mit Vorwiderstand!) vorhanden sein. Diese Anschlüsse ordnet man zweckmäßig unter der vorderen Tischkante vertikal an.

Ein griffbereit hängender Kopfhörer gehört ebenfalls zum Meßplatz. Für ihn ist übrigens in vielen Fällen der NF-Prüfverstärker verwendbar, so z. B. beim Quarz-Eichvergleich des beschriebenen Meßsenders o. ä. Die Verbindungen der Geräte untereinander erfolgen dann mit kurzen Prüfschnüren, wobei die – über die gemeinsame Erde vorhandene – Masseverbindung oft entfallen kann.

Abschließend noch einige Hinweise zu besonderen Meßverfahren. Es sollen einige weniger bekannte Meßverfahren und Anwendungsmöglichkeiten gestreift werden, soweit das nicht schon bei der Beschreibung der jeweiligen Meßgeräte geschah.

N F - L e i s t u n g s m e s s u n g e n , also Messung der von NF-Endstufen abgegebenen Ausgangsleistung, erfolgen sehr einfach, indem der zu prüfende Verstärker vom Tongenerator aus mit einer Frequenz von 1 kHz gespeist und auf Vollaussteuerung ausgeregelt wird. Ist der Verbraucher – wie meist der Fall – ein Lautsprecher, so kann dieser, um den lauten Prüfton zu umgehen, durch einen Ohmschen Widerstand im Werte der Lautsprecherimpedanz ersetzt werden. An diesem wird mit Röhrenvoltmeter die anstehende NF-Wechselspannung gemessen. Aus dem erhaltenen Wert kann nach der bekannten Formel $N=\frac{U^2}{R}$ die abgegebene Leistung errechnet werden.

Es empfiehlt sich jedoch daran anschließend eine Klirrfaktormessung mit dem Klirrfaktormeßgerät, wobei dessen 2-kHz-Meßfrequenz benutzt und hiermit das Prüfobjekt wieder auf die bei der Leistungsmessung am Ausgang vorhandene Wechselspannung ausgesteuert wird. Der Abschlußwiderstand an Stelle des Lautsprechers bleibt, ihm parallel wird die Eingangsspannung für den Klirrfaktormesser abgegriffen. Diese Messung bezweckt die Kontrolle, ob das Prüfobjekt nicht bereits übersteuert, die gemessene Leistungsabgabe also tatsächlich praktisch ausnutzbar ist.

Frequenzgang-Aufnahmen an NF-Verstärkern werden zeichnerisch ausgewertet, indem mittels Tongenerator am Eingang und RVM am Ausgang die Frequenzkurve Punkt für Punkt aufgenommen und als Kurve auf logarithmisch geteiltem Millimeterpapier gezeichnet wird. Dabei ist zu beachten, daß das Prüfobjekt nur schwach auszusteuern ist und die Eingangsspannung bei jeder Frequenz die gleiche bleibt (Beobachtung des NF-Spannungsmessers am Tongenerator). Die für jede Frequenz mit dem RVM ermittelte Ausgangsspannung wird dann über der jeweiligen Frequenz auf dem Papier aufgetragen.

Handelt es sich um einen Empfänger, so kann der Frequenzgang „über alles" aufgenommen und damit gleichzeitig der Einfluß der Empfänger-Bandbreite erfaßt werden. Dem Empfängereingang wird dann eine HF-Spannung gewünschter Frequenz zugeführt und der Empfänger darauf abgestimmt. Die HF wird nun mit der NF des Tongenerators moduliert und diese jetzt – wie bei der Aufnahme des NF-Ganges – variiert. Am NF-Ausgang mißt man wiederum mit RVM. Die Träger-HF bleibt also hierbei unverändert!

Die Aufnahme des HF-Frequenzganges (Durchlaßkurve z. B. eines ZF-Verstärkers) erfolgt wie die Aufnahme der NF-Kurve, jedoch wird hierbei die HF-Schwingung nicht moduliert und das RVM nicht am NF-Ausgang, sondern am Demodulator angeschlossen, also eine Richtspannung (bei AM-Empfängern: Schwundregelspannung) gemessen. Die gleiche Meßanordnung (RVM am Demodulator, Messung der Gleichspannung bei unmodulierter oder – falls gehörmäßig mit-

kontrolliert werden soll – nur schwach modulierter HF) wird allgemein zum Abgleich von Empfängern benutzt.

Abschließend noch Hinweise zu oszillografischen Rechteck-Prüfungen. Dieses Gebiet ist äußerst umfangreich (die Oszillografen-Meßtechnik stellt ein Fachgebiet für sich dar), daher sollen hier nur einige Stichworte zur vielseitigen Anwendungsmöglichkeit der Rechteckprüfung gegeben werden. Diese läßt oftmals an Stelle zeitraubender Messungen einen sofortigen Überblick über das Gesamtverhalten z. B. eines Verstärkers zu. Der Einfluß von mangelhafter Bandbreite bzw. zu knapper Grenzfrequenz bei hohen und tiefen Frequenzen und die Merkmale dafür an einem über den Prüfling oszillografierten Rechteck wurde bereits beim Oszillografen an Hand Bild 28 erklärt. Das dort Gesagte gilt grundsätzlich für jeden Verstärker. Bei normalen NF-Verstärkern sollten dabei keine übertriebenen Anforderungen gestellt werden. Ein Rechteck von 200 Hz darf bei einwandfreien NF-Verstärkern (untere Frequenzgrenze 40 Hz) bereits Dachabfall bis 30 Prozent zeigen. Für 15 kHz obere Grenzfrequenz ist zu fordern, daß ein 1-kHz-Rechteck noch keine wesentliche Verschleifung der Impulskanten (Punkt A in Bild 28) zeigt. Als orientierende Messung ist daher ein 500-Hz-Rechteck geeignet, an dem beide Erscheinungen (Dachabfall und Verschleifung) zu beobachten sind. Je nach Stärke ihres Auftretens kann auf die Übertragungsgüte des Verstärkers geschlossen werden. Auch etwaige Einschwingvorgänge (Bild 28 b zeigt dies als Ausschnitt des Punktes A in Bild 28 a) können erkannt werden. Sie rühren in NF-Verstärkern meist von schlechten oder fehlangepaßten Übertragern (Ausgangstrafo!) her. Auch falsch dimensionierte Gegenkopplungen können schuld daran sein. Sind obere und untere Rechteckkante oder an ihnen auftretende Überschwinger verschieden groß, so kann auf *nichtlineare Verzerrungen* (erhöhter Klirrfaktor) infolge Übersteuerung oder falsch gewähltem Röhrenarbeitspunkt geschlossen werden. Auch der Dachabfall läßt nähere Schlüsse zu: Ist das Dach abfallend, aber geradlinig, so handelt es sich um Phasenfehler (Phasenvoreilung bei tiefen Frequenzen). Ein geradliniger *Dachanstieg bedeutet entsprechend eine Phasennacheilung*

bei tiefen Frequenzen. Ist dagegen das Dach gewölbt, so handelt es sich bei durchhängendem Dach (Bild 28 a) um Amplitudenschwächung der tiefen Frequenzen. Ein von der Nullinie weggewölbtes Dach würde auf Amplitudensteigerung (z. B. Baßanhebung) schließen lassen. Da meist mehrere dieser Erscheinungen zugleich auftreten, ist die Auswertung Erfahrungssache. Man kann diese Erscheinungen schön an einem NF-Verstärker mit getrennten Klangreglern für Höhen und Tiefen demonstrieren, wobei jede Klangreglerverstellung sofort typisch sichtbar wird. Alle genannten Erscheinungen gelten sinngemäß auch für HF-Verstärker, z. B. Fernseh-Video-Verstärker. Wenn bei einem Verstärker obere und untere Frequenzgrenzen oszillografisch einigermaßen ordentlich sind, so ist im allgemeinen auch der gesamte mittlere Frequenzbereich einwandfrei. Da die Rechteck-Prüfung jedoch eine sehr scharfe Prüfung darstellt, die auch kleinste Mängel zeigt, sollte man vor Auswertung eines Oszillogramms zur Vorsicht grundsätzlich eine Beobachtung des dem Eingang des Prüflings zugeführten Rechtecks (Oszillograf dem Prüfling-Eingang parallellegen) vornehmen, um festzustellen, wie weit das Ursprungs-Rechteck einwandfrei ist bzw. durch die Meßanordnung selbst evtl. schon verformt wird. Dies ist mitunter unvermeidlich (wenigstens in der Amateurpraxis) und daher bei der Auswertung zu berücksichtigen.
Weitere Meßmethoden, wie z. B. Frequenzvergleiche durch Zuführen der Vergleichsfrequenz an Stelle der Zeitablenkung über den X-Eingang des Oszillografen, können hier nicht geschildert werden. Das ebengenannte, vorwiegend für NF-Frequenzmessungen angewendete Verfahren ist durchführbar, indem die unbekannte Frequenz dem Y-Eingang, die Vergleichsfrequenz vom Tongenerator dem X-Eingang zugeführt und mit den Eingangsreglern beide auf etwa gleiche Pegel gebracht werden. Die Frequenzbestimmung erfolgt dann durch Erzeugen stehender Bilder (Ring, Ellipse usw., „Lissajoussche Figuren"). Ebenso werden Phasenmessungen vorgenommen. Der Phasengang eines Verstärkers (Laufzeitverzögerung) für verschiedene Frequenzen wird z. B. oszillografiert, indem die dem Verstärker zugeführte Prüf-Frequenz parallel zu dessen Eingang dem

X-Oszillografeneingang und von dessen Ausgang dem Y-Eingang zugeführt und beide auf gleichen Pegel gebracht werden. Das Verhältnis des Y- zum X-Durchmesser der sich auf dem Bildschirm zeigenden Ellipse gibt den Phasenwinkel an.

Hingewiesen sei noch auf die Erzeugung von Zeitmarken für die Hellsteuerung des Oszillografen. Hierzu wird dem Hellsteuereingang ein Widerstand von etwa 100 kΩ (je nach Frequenzbereich) parallelgelegt und das als Zeitmaß dienende Rechteck über einen kleinen Kondensator (je nach Frequenz 10 . . . 500 pF) diesem Eingang zugeführt. Das Rechteck wird dabei zu einem Nadelimpuls umgewandelt („differenziert"), der im Abstand der Nulldurchgänge des Rechtecks im Oszillogramm abwechselnd helle und dunkle Punkte erzeugt. Die Spannung des Rechtecks ist dabei je nach gewünschter Helligkeit und Schärfe der Marken zu wählen. Es entspricht z. B. der Abstand von hellem zu hellem Punkt im Oszillogramm dann einer Periode der Rechteckfrequenz und bietet einen guten Zeitmaßstab für das gleichzeitig in üblicher Form mit der Zeitablenkung geschriebene und eigensynchronisierte Oszillogramm der zu untersuchenden Spannung, deren Frequenz daher auch auf diesem Wege bestimmt werden kann, bzw. es können einzelne Oszillogrammteile oder Impulsformen nach ihrer zeitlichen Länge bestimmt werden. Das Rechteck wird dabei zweckmäßig vom Tongenerator entnommen und seine Frequenz so gewählt, daß die Marken stillstehen und ausgezählt werden können. Für weitergehende Erklärungen muß auf Spezialliteratur (z. B. Czech, Oszillografen-Meßtechnik, o. ä.) verwiesen werden.

Abschließend sei nochmals festgestellt, daß es das Ziel dieser Broschüre ist, erprobte Bauanleitungen für Meßgeräte, die auf die Praxis des fortgeschritteneren Amateurs zugeschnitten sind, dabei aber keine Provisorien, sondern vollwertige Qualitäts-Meßgeräte ergeben, zu zeigen. Es soll damit ermöglicht werden, einen zweckmäßigen, universell benutzbaren Meßplatz zusammenzustellen, wie er für eigene Konstruktions- und größere Aufbauaufgaben unentbehrlich ist. Da von den in der Literatur weit verstreuten Schaltungen die wenigsten für den amateurmäßigen Nach-

bau geeignet sind, soll dieses Heft ein zeitraubendes Studium umfangreicher Spezialliteratur und Fachpresseveröffentlichungen ersparen. Dagegen soll und kann es nicht eine allgemeine Einführung in die meßtechnische Praxis sein. Im allgemeinen muß auch vorausgesetzt werden, daß der Amateur, der die entsprechenden Meßgeräte aufbaut, auch über ihre prinzipiellen Anwendungsmöglichkeiten bereits orientiert ist und die Anwendungsgrundlagen und Prinzipien der vorzunehmenden Messungen bereits bis zu einem gewissen Grade beherrscht. Ohne diese Kenntnis hat der Aufbau der Geräte wenig Sinn.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS

In der Reihe

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR

sind bisher erschienen:

Band 1 Karl Andrea – **Der Weg zur Kurzwelle** (2. Auflage)

Band 2 Hagen Jakubaschk – **Tonbandgeräte selbstgebaut** (z. Zt. vergriffen)

Band 3 Dr. Horst Putzmann – **Kristalldioden und Transistoren** (vergriffen)

Band 4 Hagen Jakubaschk – **Tonband-Aufnahmepraxis** (2. Auflage)

Band 5 Harry Brauer – **Vorsatzgeräte für den Kurzwellenempfang** (z. Zt. vergriffen)

Band 6 Klaus Häusler – **Frequenzmesser**

Band 7 Ehrenfried Scheller – **Fuchsjagd-Peilempfänger / Fuchsjagd-Sender**

Band 8 Karl-Heinz Schubert – **Praktisches Radiobasteln I** (2. Auflage)

Band 9 Karl-Heinz Schubert – **Praktisches Radiobasteln II** (2. Auflage in Vorbereitung)

Band 10 Otto Morgenroth – **Vom Schaltzeichen zum Empfängerschaltbild** (z. Zt. vergriffen)

Band 11 Autorenkollektiv – **Die Lizenzprüfung in Frage und Antwort**

Band 12 F. W. Fußnegger – **Meßtechnik für den Kurzwellenamateur**

Band 13 Karl-Heinz Schubert – **Miniaturröhren und ihre Schaltungstechnik**

Band 14 Hagen Jakubaschk und Ludwig Scholz – **Fernsehempfänger selbstgebaut**

Band 15 Karl Rothammel – **UKW-Amateurfunk**

Band 16 Karl-Heinz Schubert – **Praktisches Radiobasteln III**

Band 17 Hans-Joachim Fischer und Vitus Blos – **Transistor-Taschenempfänger selbstgebaut**

Band 18 Hagen Jakubaschk – **Meßplatz des Amateurs**

Weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

Jeder Band hat einen Umfang von etwa 80 bis 96 Seiten und ist mit zahlreichen Bildern ausgestattet. Ladenverkaufspreis 1,90 DM pro Band.

Preis 1,90 DM